This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

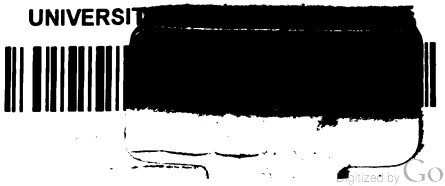
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

.1540

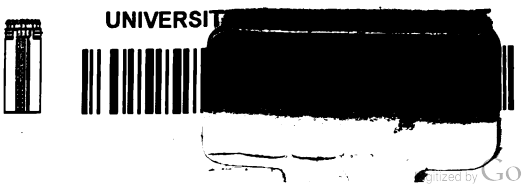
UNIVERSI



Digitized by Google

Digitized by Google

1540



Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

350
293

Digitized by Google

MANUEL AIDE-MÉMOIRE

DU

CONSTRUCTEUR DE TRAVAUX PUBLICS

ET DE MACHINES

COMPRENANT

LE FORMULAIRE ET LES DONNÉES D'EXPÉRIENCE DE LA CONSTRUCTION,

ACCOMPAGNÉ DE RECHERCHES ET D'ENTRETIENS SUR LES PROGRÈS CONSTATÉS, AINSI QUE SUR CEUX A FAIRE DANS LE DOMAINE DE LA TECHNOLOGIE;

PAR

ÉMILE WITH.

PARIS,

IMPRIMERIE ADMINISTRATIVE DE PAUL DUPONT.

ÉDITEUR,

Rue de Grenelle-Saint-Honoré, 45.

—

1858

Digitized by Google

Digitized by Google

MANUEL AIDE-MÉMOIRE

DU

CONSTRUCTEUR DE TRAVAUX PUBLICS

ET DE MACHINES.

CHAPITRE I.

MATHÉMATIQUES.

§ I. — Données arithmétiques.

PROPOSITION I. — Table des nombres ou diamètres de 1 à 1000 donnant les carrés, les cubes, les circonférences, les surfaces des cercles et les racines carrées et cubiques de ces nombres.

NOMBRES ou diamètres.	CARRÉS.	CUBES.	CIRCONFÉRENCES.	CERCLES	RACINES carrées.	RACINES cubiques.
1	1	1	3,14	0,7854	1,000	1,000
2	4	8	6,28	3,1416	1,414	1,260
3	9	27	9,42	7,07	1,732	1,442
4	16	64	12,57	12,57	2,000	1,588
5	25	125	15,71	19,63	2,236	1,710
6	36	216	16,85	28,27	2,449	1,818
7	49	343	21,99	38,48	2,645	1,912
8	64	512	25,13	50,26	2,828	2,000
9	81	729	28,27	63,61	3,000	2,080
10	100	1000	31,41	78,54	3,162	2,154
11	121	1331	34,55	95,03	3,316	2,223

Digitized by Google

NOMBRES ou diamètres.	CARRÉS.	CUBES.	CIRCONFÉRENCES.	CERCLES.	RACINES carrées.	RACINES cubiques.
12	144	1728	37,70	113,09	3,464	2,290
13	169	2197	40,84	132,73	3,606	2,351
14	196	2744	43,98	153,94	3,742	2,410
15	225	3375	47,12	176,71	3,873	2,466
16	256	4096	50,26	201,06	4,000	2,520
17	289	4913	53,40	226,98	4,123	2,571
18	324	5832	56,55	254,47	4,243	2,621
19	361	6859	59,69	283,53	4,360	2,668
20	400	8000	62,83	314,16	4,472	2,714
21	441	9261	65,97	346,36	4,583	2,759
22	484	10648	69,11	380,13	4,690	2,802
23	529	12167	72,25	415,47	4,796	2,844
24	576	13824	75,40	452,39	4,900	2,884
25	625	15625	78,54	490,87	5,000	2,924
26	676	17576	81,68	530,93	5,100	2,962
27	729	19683	84,82	572,55	5,196	3,000
28	784	21932	87,96	615,75	5,292	3,037
29	841	24389	91,10	660,52	5,385	3,072
30	900	27000	94,25	706,86	5,477	3,107
31	961	29791	97,39	754,77	5,567	3,141
32	1024	32768	100,53	804,25	5,657	3,175
33	1089	35937	103,67	855,30	5,745	3,207
34	1156	39304	106,81	907,92	5,831	3,240
35	1225	42875	109,95	962,11	5,916	3,271
36	1296	46656	113,09	1017,87	6,000	3,302
37	1369	50653	116,24	1075,21	6,083	3,332
38	1444	54872	119,38	1134,11	6,164	3,362
39	1521	59319	122,52	1194,59	6,245	3,391
40	1600	64000	125,66	1256,64	6,325	3,420
41	1681	68921	128,80	1320,25	6,403	3,448
42	1764	74088	131,94	1385,54	6,481	3,476
43	1849	79507	135,09	1452,20	6,557	3,503
44	1936	85184	138,23	1520,53	6,633	3,530
45	2025	91125	141,37	1590,43	6,708	3,567
46	2116	97336	144,51	1661,90	6,782	3,583
47	2209	103823	147,65	1734,93	6,856	3,609
48	2304	110592	150,79	1809,56	6,928	3,634
49	2401	117649	153,93	1885,74	7,000	3,659
50	2500	125000	157,08	1963,50	7,071	3,684
51	2601	132651	160,22	2042,82	7,141	3,708
52	2704	140608	163,36	2123,72	7,211	3,733
53	2809	148877	166,50	2206,19	7,280	3,756
54	2916	157464	169,64	2290,22	7,348	3,780
55	3025	166375	172,78	2375,83	7,420	3,803
56	3136	175616	175,93	2463,01	7,483	3,825
57	3249	185193	179,07	2551,76	7,550	3,850
58	3364	195112	182,21	2642,08	7,616	3,870
59	3481	205379	185,35	2733,97	7,681	3,893

Digitized by Google

NOMBRES ou diamètres.	CARRÉS.	CUBES.	CIRCONFÉRENCES.	CERCLES.	RACINES carrées.	RACINES cubiques.
60	3600	216000	188,49	2827,44	7,746	3,915
61	3721	226981	191,63	2922,47	7,810	3,937
62	3844	238328	194,77	3019,07	7,874	3,958
63	3969	250047	197,92	3117,25	7,940	3,980
64	4096	262144	201,06	3216,99	8,000	4,000
65	4225	274625	204,20	3318,31	8,062	4,021
66	4356	287496	207,34	3421,20	8,124	4,041
67	4489	300763	210,48	3525,66	8,185	4,062
68	4624	314432	213,63	3631,69	8,248	4,082
69	4761	328509	216,77	3739,29	8,307	4,102
70	4900	343000	219,91	3848,26	8,366	4,121
71	5041	357911	223,05	3959,20	8,426	4,141
72	5184	373248	226,19	4071,51	8,485	4,160
73	5329	389017	229,33	4185,39	8,544	4,180
74	5476	405224	232,47	4300,85	8,602	4,200
75	5625	421875	235,62	4417,87	8,660	4,217
76	5776	438976	238,76	4536,47	8,718	4,236
77	5929	456533	241,90	4656,63	8,775	4,254
78	6084	474552	245,04	4778,37	8,832	4,273
79	6241	493039	248,18	4901,68	8,888	4,291
80	6400	512000	251,32	5026,56	8,944	4,310
81	6561	531441	254,47	5153,01	9,000	4,327
82	6724	551368	257,61	5281,03	9,055	4,344
83	6889	571787	260,75	5410,62	9,110	4,362
84	7056	592704	263,89	5541,78	9,165	4,380
85	7225	614125	267,03	5674,50	9,220	4,397
86	7396	636056	270,17	5808,81	9,274	4,414
87	7569	658503	273,32	5944,69	9,327	4,431
88	7744	681472	276,46	6082,13	9,380	4,447
89	7921	704969	279,60	6221,13	9,433	4,461
90	8100	729000	282,74	6361,74	9,487	4,481
91	8281	753571	285,88	6503,89	9,540	4,500
92	8464	778688	289,02	6647,62	9,592	4,514
93	8649	804357	292,17	6792,92	9,643	4,530
94	8836	830584	295,31	6939,78	9,695	4,546
95	9025	857375	298,45	7088,23	9,746	4,562
96	9216	884736	301,59	7238,24	9,797	4,578
97	9409	912673	304,73	7389,83	9,848	4,594
98	9604	941192	307,87	7542,98	9,899	4,610
99	9801	970299	311,02	7697,68	9,949	4,626
100	10000	1000000	314,16	7854,00	10,000	4,641
101	10201	1030301	317,30	8011,86	10,049	4,657
102	10404	1061208	320,44	8171,30	10,099	4,672
103	10609	1092727	323,58	8332,30	10,148	4,687
104	10816	1124864	326,72	8494,88	10,198	4,702
105	11025	1157625	329,86	8659,03	10,246	4,717
106	11236	1191016	333,00	8824,75	10,295	4,732
107	11449	1225043	336,15	8992,04	10,344	4,747

Digitized by Google

NOMBRES ou diamètres.	CARRÉS.	CUBES.	CIRCONFÉRENCES.	CERCLES.	RACINES carrées.	RACINES cubiques.
108	11664	1259712	339,29	9160,90	10,392	4,762
109	11881	1295029	342,43	9331,33	10,440	4,776
110	12100	1331000	345,57	9503,34	10,488	4,791
111	12321	1367631	348,71	9676,91	10,535	4,805
112	12544	1404928	351,85	9852,05	10,583	4,820
113	12769	1442897	355,01	10028,77	10,630	4,834
114	12996	1481544	358,14	10207,05	10,677	4,848
115	13225	1520875	361,28	10386,91	10,723	4,862
116	13456	1560896	364,42	10568,34	10,770	4,876
117	13689	1601613	367,56	10751,34	10,816	4,890
118	13924	1643032	370,70	10935,90	10,862	4,904
119	14161	1685159	373,85	11122,04	10,908	4,918
120	14400	1728000	376,99	11309,76	10,954	4,932
121	14641	1771561	380,13	11499,04	11,000	4,946
122	14884	1815848	383,27	11689,89	11,045	4,959
123	15129	1860867	386,41	11882,31	11,090	4,973
124	15376	1906624	389,55	12076,31	11,135	4,986
125	15625	1953125	392,70	12271,87	11,180	5,000
126	15876	2000376	395,84	12469,01	11,224	5,013
127	16129	2048383	398,98	12667,71	11,269	5,026
128	16384	2097152	402,12	12867,99	11,313	5,039
129	16641	2146689	405,26	13069,84	11,357	5,052
130	16900	2197000	408,41	13273,26	11,401	5,065
131	17161	2248091	411,54	13478,24	11,445	5,078
132	17424	2299968	414,69	13684,80	11,489	5,091
133	17689	2352637	417,83	13892,94	11,532	5,104
134	17956	2406104	420,97	14102,64	11,575	5,117
135	18225	2460375	424,11	14313,91	11,618	5,129
136	18496	2515456	427,25	14526,75	11,661	5,142
137	18769	2571353	430,39	14741,17	11,704	5,155
138	19044	2628072	433,54	14957,15	11,747	5,167
139	19321	2685619	436,68	15174,71	11,789	5,180
140	19600	2744000	439,82	15393,84	11,832	5,192
141	19881	2803221	442,96	15614,53	11,874	5,204
142	20164	2863288	446,10	15836,80	11,916	5,217
143	20449	2924207	449,24	16060,64	11,958	5,229
144	20736	2985984	452,39	16286,05	12,000	5,241
145	21025	3048625	455,53	16513,03	12,041	5,253
146	21316	3112136	458,67	16741,58	12,083	5,265
147	21609	3176523	461,81	16971,70	12,124	5,277
148	21904	3241792	464,95	17203,40	12,165	5,289
149	22201	3307949	468,09	17436,65	12,206	5,301
150	22500	3375000	471,24	17671,50	12,247	5,313
151	22801	3442951	474,38	17907,90	12,288	5,325
152	23104	3511808	477,52	18145,88	12,328	5,336
153	23409	3581577	480,66	18385,42	12,369	5,348
154	23716	3652264	483,80	18626,54	12,409	5,360
155	24025	3723875	486,94	18869,23	12,449	5,371

Digitized by Google

NOMBRES ou diamètres.	CARRÉS.	CUBES.	CIRCONFÉRENCES.	CERCLES.	RACINES carrées.	RACINES cubiques.
156	24336	3796416	490,08	19113,49	12,489	5,383
157	24649	3869893	493,23	19359,32	12,529	5,394
158	24964	3944312	496,37	19606,72	12,569	5,406
159	25281	4019679	499,51	19885,69	12,609	5,417
160	25600	4096000	502,65	20106,24	12,649	5,428
161	25921	4173281	505,79	20358,35	12,688	5,440
162	26244	4251528	508,93	20612,03	12,727	5,451
163	26569	4330747	512,08	20867,20	12,767	5,462
164	26896	4410944	515,22	21124,11	12,806	5,473
165	27225	4492125	518,36	21382,51	12,845	5,484
166	27556	4574296	521,50	21642,48	12,884	5,495
167	27889	4657463	524,64	21904,02	12,922	5,506
168	28224	4741632	527,78	22167,12	12,961	5,517
169	28561	4826809	530,93	22431,80	13,000	5,528
170	28900	4913000	534,07	22698,06	13,038	5,539
171	29241	5000211	537,31	22965,88	13,076	5,550
172	29584	5088448	540,35	23235,27	13,114	5,561
173	29929	5177717	543,49	23506,23	13,152	5,572
174	30276	5268024	546,64	23778,77	13,190	5,582
175	30625	5359375	549,78	24052,87	13,228	5,593
176	30976	5451776	552,92	24328,55	13,266	5,604
177	31329	5545233	556,06	24605,79	13,304	5,614
178	31684	5639752	559,20	24884,61	13,341	5,625
179	32041	5735339	562,34	25165,00	13,379	5,635
180	32400	5832000	565,48	25446,96	13,416	5,646
181	32761	5929741	568,62	25730,48	13,453	5,656
182	33124	6028568	571,77	26015,58	13,490	5,667
183	33489	6128487	574,91	26302,26	13,527	5,677
184	33856	6229504	578,05	26590,50	13,564	5,687
185	34225	6331623	581,19	26880,31	13,601	5,698
186	34596	6434856	584,33	27171,69	13,638	5,708
187	34969	6539203	587,47	27464,63	13,674	5,718
188	35344	6644672	590,62	27759,17	13,711	5,728
189	35721	6751269	593,76	28055,27	13,747	5,738
190	36100	6859000	596,90	28352,94	13,784	5,748
191	36481	6967871	600,04	28652,17	13,820	5,758
192	36864	7077888	603,18	28952,98	13,856	5,768
193	37249	7189057	606,32	29255,36	13,892	5,778
194	37636	7301384	609,47	29559,31	13,928	5,788
195	38025	7414875	612,61	29864,83	13,964	5,798
196	38416	7529536	615,75	30171,92	14,000	5,808
197	38809	7645373	618,89	30480,60	14,035	5,818
198	39204	7762392	622,03	30790,82	14,071	5,828
199	39601	7880599	625,17	31102,52	14,106	5,838
200	40000	8000000	628,32	31416,00	14,142	5,848
201	40401	8120601	631,46	31730,94	14,177	5,857
202	40804	8242408	634,60	32047,46	14,212	5,867
203	41209	8365427	637,74	32365,54	14,247	5,877

Digitized by Google

NOMBRES ou diamètres.	CARRÉS.	CUBES.	CIRCONFÉRENCES.	CERCLES.	RACINES carrées.	RACINES cubiques.
204	41616	8489664	640,88	32685,20	14,282	5,886
205	42025	8615125	644,02	33006,43	14,317	5,896
206	42436	8741816	647,16	33329,23	14,352	5,905
207	42849	8869743	650,31	33653,60	14,387	5,915
208	43264	8998912	653,45	33979,54	14,422	5,924
209	43681	9129329	656,59	34307,05	14,456	5,934
210	44100	9261000	659,73	34636,14	14,491	5,943
211	44521	9393931	662,87	34966,79	14,525	5,953
212	44944	9528128	666,01	35299,01	14,560	5,962
213	45369	9663597	669,16	35632,81	14,594	5,972
214	45796	9800344	672,30	35968,17	14,628	5,981
215	46225	9938375	675,44	36305,11	14,662	5,990
216	46656	10077696	678,58	36643,62	14,696	6,000
217	47089	10218313	681,72	36983,70	14,730	6,009
218	47524	10360232	684,86	37325,34	14,764	6,018
219	47961	10503459	688,01	37668,56	14,798	6,027
220	48400	10648000	691,15	38013,36	14,832	6,036
221	48841	10793861	694,29	38359,72	14,866	6,045
222	49284	10941048	697,43	38707,65	14,899	6,055
223	49729	11089567	700,57	39057,51	14,933	6,064
224	50176	11239424	703,71	39408,23	14,966	6,073
225	50625	11390625	706,86	39760,87	15,000	6,082
226	51076	11543176	710,00	40115,09	15,033	6,091
227	51529	11697083	713,14	40470,87	15,066	6,100
228	51984	11852352	716,28	40828,23	15,099	6,109
229	52441	12008989	719,42	41187,16	15,132	6,118
230	52900	12167000	722,56	41547,66	15,165	6,126
231	53361	12326391	725,70	41909,72	15,198	6,135
232	53824	12487168	728,85	42273,36	15,231	6,144
233	54289	12649337	731,99	42638,58	15,264	6,153
234	54756	12812904	735,13	43005,36	15,297	6,162
235	55225	12977875	738,27	43373,71	15,329	6,171
236	55696	13144256	741,41	43743,63	15,362	6,179
237	56169	13312053	744,55	44115,11	15,394	6,188
238	56644	13481272	747,68	44488,19	15,427	6,197
239	57121	13651919	750,84	44862,83	15,459	6,205
240	57600	13824000	753,98	45239,04	15,491	6,214
241	58081	13997521	757,12	45616,81	15,524	6,223
242	58564	14172488	760,26	45996,16	15,556	6,231
243	59049	14348907	763,40	46377,08	15,588	6,240
244	59536	14526784	766,55	46759,57	15,620	6,248
245	60025	14706125	769,69	47143,63	15,652	6,257
246	60516	14886936	772,83	47529,26	15,684	6,265
247	61009	15069223	775,97	47916,46	15,716	6,274
248	61504	15252992	779,11	48305,24	15,748	6,282
249	62001	15438249	782,25	48693,58	15,779	6,291
250	62500	15625000	785,40	49087,50	15,811	6,299
251	63001	15813251	788,54	49480,98	15,842	6,307

Digitized by Google

NOMBRES OU nombres.	CARRÉS.	CUBES.	CIRCONFÉRENCES.	CERCLES.
252	63504	16003008	791,66	49876,04
253	64009	16194277	794,80	50272,66
254	64516	16387064	797,96	50670,86
255	65025	16581375	801,10	51070,63
256	65536	16777216	804,24	51471,96
257	66049	16974593	807,39	51874,88
258	66564	17173512	810,53	52279,36
259	67081	17373979	813,67	52685,41
260	67600	17576000	816,81	53093,04
261	68121	17779581	819,97	53502,23
262	68644	17984728	823,09	53912,99
263	69169	18191447	826,24	54325,33
264	69696	18399744	829,38	54739,23
265	70225	18609625	832,52	55154,71
266	70756	18821096	835,66	55571,76
267	71289	19034163	838,80	55990,38
268	71824	19248832	841,94	56410,56
269	72361	19465109	845,09	56832,32
270	72900	19683000	848,23	57255,66
271	73441	19902511	851,37	57680,56
272	73984	20123648	854,51	58107,03
273	74529	20346417	857,65	58535,07
274	75076	20570824	860,79	58964,69
275	75625	20796875	863,94	59395,87
276	76176	21024576	867,08	59828,63
277	76729	21253933	870,22	60262,95
278	77284	21484952	873,36	60698,85
279	77841	21717639	876,50	61136,32
280	78400	21952000	879,64	61575,36
281	78961	22188041	882,78	62015,96
282	79524	22425768	885,93	62458,14
283	80089	22665187	889,07	62901,90
284	80656	22906304	892,21	63347,22
285	81225	23149125	895,35	63794,11
286	81796	23393656	898,49	64242,57
287	82369	23639903	901,63	64692,61
288	82944	23787872	904,78	65144,21
289	83521	24137569	907,92	65597,39
290	84100	24389000	911,06	66052,14
291	84681	24642171	914,20	66508,45
292	85264	24897088	917,34	66966,34
293	85849	25153757	920,48	67425,80
294	86436	25412184	923,63	67886,63
295	87025	25672375	926,77	68349,43
296	87616	25934336	929,91	68813,60
297	88209	26198073	933,05	69279,34
298	88804	26463592	936,19	69746,66
299	89401	26730899	939,33	70215,54

Digitized by Google

NOMBRES ou diamètres.	CARRÉS.	CUBES.	CIRCONFÉRENCES.	CERCLES.	RACINES carrées.	RACINES cubiques.
300	90000	27000000	942,48	70686,00	17,320	6,694
301	90601	27270901	945,62	71158,02	17,349	6,702
302	91204	27543608	948,76	71631,62	17,378	6,709
303	91809	27818127	951,90	72106,78	17,407	6,717
304	92416	28094464	955,04	72583,52	17,436	6,724
305	93025	28372625	958,18	73061,83	17,464	6,731
306	93636	28652616	961,32	73541,71	17,493	6,739
307	94249	28934443	964,47	74023,16	17,521	6,746
308	94864	29218112	967,61	74506,18	17,549	6,753
309	95481	29503629	970,75	74990,77	17,578	6,761
310	96100	29791000	973,89	75476,94	17,607	6,768
311	96721	30080231	977,03	75964,67	17,635	6,775
312	97344	30371328	980,17	76453,93	17,663	6,782
313	97969	30664297	983,32	76944,85	17,692	6,789
314	98596	30959144	986,45	77437,29	17,720	6,797
315	99225	31255875	989,60	77931,31	17,748	6,804
316	99856	31554496	992,74	78426,89	17,776	6,811
317	100489	31855013	995,88	78924,06	17,804	6,818
318	101124	32157432	999,02	79422,78	17,832	6,826
319	101761	32461759	1002,17	79923,08	17,860	6,833
320	102400	32768000	1005,31	80424,96	17,888	6,839
321	103041	33076161	1008,45	80928,40	17,916	6,847
322	103684	33386248	1011,59	81433,41	17,944	6,854
323	104329	33698267	1014,73	81939,99	17,972	6,861
324	104976	34012224	1017,88	82448,15	18,000	6,868
325	105625	34328125	1021,16	82956,87	18,028	6,875
326	106276	34645976	1024,30	83469,17	18,055	6,882
327	106929	34965783	1027,44	83982,60	18,083	6,889
328	107584	35287552	1030,58	84496,47	18,111	6,896
329	108241	35611289	1033,72	85012,48	18,138	6,903
330	108900	35937000	1036,86	85530,06	18,166	6,910
331	109561	36264691	1039,88	86049,20	18,193	6,917
332	110224	36594368	1043,01	86569,92	18,221	6,924
333	110889	36926037	1046,15	87092,22	18,248	6,931
334	111556	37259704	1049,29	87616,08	18,276	6,938
335	112225	37595375	1052,43	88141,51	18,303	6,945
336	112896	37933056	1055,57	88668,51	18,330	6,952
337	113569	38272753	1058,71	89197,09	18,357	6,959
338	114244	38614472	1061,86	89727,23	18,385	6,966
339	114921	38958219	1065,20	90258,95	18,412	6,973
340	115600	39304000	1068,14	90792,24	18,439	6,979
341	116281	39651821	1071,28	91327,09	18,466	6,986
342	116964	40001688	1074,27	91863,52	18,493	6,993
343	117649	40353607	1077,56	92401,15	18,520	7,000
344	118336	40707584	1080,71	92941,09	18,547	7,007
345	119025	41063625	1083,85	93482,23	18,574	7,014
346	119716	41421736	1086,99	94024,94	18,601	7,020
347	120409	41781923	1090,13	94569,22	18,628	7,027

Digitized by Google

NOMBRES ou diamètres.	CARRÉS.	CUBES.	CIRCONFÉRENCES.	CERCLES.	RACINES carrées.	RACINES cubiques.
348	121104	42144192	1093,27	95115,08	18,653	7,034
349	121801	42508349	1096,41	95662,50	18,681	7,040
350	122500	42875000	1099,56	96211,50	18,708	7,047
351	123201	43243351	1102,70	96762,06	18,735	7,054
352	123904	43614208	1105,84	97314,20	18,762	7,061
353	124609	43986977	1108,98	97867,90	18,788	7,067
354	125316	44361864	1112,62	98423,18	18,815	7,074
355	126025	44738875	1115,26	98980,03	18,842	7,081
356	126736	45118016	1118,40	99538,45	18,868	7,087
357	127449	45499293	1121,55	100098,43	18,894	7,094
358	128164	45882712	1124,69	100660,00	18,921	7,101
359	128881	46268279	1127,83	101223,13	18,947	7,107
360	129600	46656000	1130,97	101787,84	18,974	7,114
361	130321	47045881	1134,11	102354,11	19,000	7,120
362	131044	47437928	1137,25	102921,95	19,026	7,126
363	131769	47832147	1140,40	103491,31	19,052	7,133
364	132496	48228544	1143,54	104062,35	19,079	7,140
365	133225	48627125	1146,68	104634,91	19,105	7,146
366	133956	49027896	1149,82	105209,04	19,131	7,153
367	134689	49430863	1152,96	105784,74	19,157	7,159
368	135424	49836032	1156,10	106362,00	19,183	7,166
369	136161	50243409	1159,25	106940,84	19,209	7,172
370	136900	50653000	1162,39	107521,26	19,235	7,179
371	137641	51064811	1165,53	108103,22	19,261	7,185
372	138384	51478848	1168,67	108686,79	19,287	7,192
373	139129	51895117	1171,81	109271,91	19,313	7,198
374	139876	52313624	1174,95	109858,62	19,339	7,205
375	140625	52734375	1178,10	110446,87	19,365	7,211
376	141376	53157376	1181,24	111036,71	19,391	7,218
377	142129	53582633	1184,38	111628,11	19,416	7,224
378	142884	54010152	1187,52	112221,09	19,442	7,230
379	143641	54439939	1190,66	112815,64	19,468	7,237
380	144400	54872000	1193,80	113411,76	19,493	7,243
381	145161	55306341	1196,94	114009,46	19,519	7,249
382	145924	55742968	1200,09	114608,70	19,545	7,256
383	146689	56181887	1203,23	115209,54	19,570	7,262
384	147456	56623104	1206,37	115811,94	19,596	7,268
385	148225	57066625	1209,51	116415,91	19,621	7,275
386	148996	57512456	1212,65	117021,45	19,647	7,281
387	149769	57960603	1215,79	117628,57	19,672	7,287
388	150544	58411072	1218,94	118237,25	19,698	7,294
389	151321	58863869	1222,08	118846,51	19,723	7,299
390	152100	59319000	1225,22	119459,62	19,748	7,306
391	152881	59776471	1228,36	120072,73	19,774	7,312
392	153664	60236288	1231,50	120687,70	19,799	7,319
393	154449	60698457	1234,64	121304,24	19,824	7,325
394	155236	61162984	1237,79	121922,43	19,849	7,331
395	156025	61629875	1240,93	122542,03	19,875	7,337

Digitized by Google

NOMBRES ou diamètres.	CARRÉS.	CUBES.	CIRCONFÉRENCES.	CERCLES.	RACINES carrées.	RACINES cubiques.
396	156816	62099136	1244,07	123163,28	19,899	7,343
397	157609	62570773	1247,21	123786,10	19,925	7,349
398	158404	63044792	1250,35	124411,28	19,949	7,356
399	159201	63521199	1253,49	125036,46	19,975	7,362
400	160000	64000000	1256,64	125664,00	20,000	7,368
401	160801	64481201	1259,78	126293,10	20,025	7,374
402	161604	64964808	1262,92	126923,88	20,049	7,380
403	162409	65450827	1266,06	127556,02	20,075	7,386
404	163216	65939264	1269,20	128189,84	20,099	7,392
405	164025	66430125	1272,34	128825,23	20,125	7,399
406	164836	66923416	1275,48	129462,19	20,149	7,405
407	165649	67419143	1278,63	130100,71	20,174	7,411
408	166464	67917312	1281,77	130740,82	20,199	7,417
409	167281	68417929	1284,91	131382,49	20,224	7,422
410	168100	68921000	1288,05	132025,74	20,248	7,429
411	168921	69426531	1291,19	132670,55	20,273	7,434
412	169744	69934528	1294,34	133316,93	20,298	7,441
413	170569	70444997	1297,48	133964,89	20,322	7,447
414	171396	70957944	1300,62	134614,41	20,347	7,453
415	172225	71473375	1303,76	135265,51	20,371	7,459
416	173056	71991296	1306,90	135918,18	20,396	7,465
417	173889	72511713	1310,04	136572,42	20,421	7,471
418	174724	73034632	1313,18	137228,22	20,445	7,477
419	175561	73560059	1316,32	137885,69	20,469	7,483
420	176400	74088000	1319,47	138544,56	20,494	7,489
421	177241	74618461	1322,61	139205,08	20,518	7,495
422	178084	75151448	1325,75	139867,17	20,543	7,501
423	178929	75686967	1328,89	140530,83	20,567	7,507
424	179776	76225024	1332,03	141196,07	20,591	7,513
425	180625	76765625	1335,18	141862,87	20,615	7,518
426	181476	77308776	1338,32	142531,25	20,639	7,524
427	182329	77854483	1341,46	143201,19	20,664	7,530
428	183184	78402752	1344,60	143872,71	20,688	7,536
429	184041	78953589	1347,74	144545,80	20,712	7,542
430	184900	79507000	1350,88	145220,46	20,736	7,548
431	185761	80062991	1354,02	145696,68	20,760	7,554
432	186624	80621568	1357,17	146574,48	20,785	7,559
433	187489	81182737	1360,33	147253,85	20,809	7,565
434	188356	81746504	1363,45	147934,80	20,833	7,571
435	189225	82312875	1366,59	148617,31	20,857	7,577
436	190096	82881856	1369,73	149301,39	20,881	7,583
437	190969	83453453	1372,87	149987,05	20,904	7,588
438	191844	84027672	1376,02	150674,27	20,928	7,594
439	192721	84604519	1379,16	151362,87	20,952	7,600
440	193600	85184000	1382,30	152053,44	20,976	7,606
441	194481	83766121	1385,44	152745,37	21,000	7,612
442	195364	86350888	1388,58	153438,88	21,024	7,617
443	196249	86938307	1391,72	154133,96	21,047	7,623

Digitized by Google

NOMBRES OU diamètres.	CARRÉS.	CUBES.	CIRCONFÉRENCES.	CERCLES.	RACINES carrées.	RACINES cubiques.
442	197136	87528384	1394,87	154830,61	21,071	7,629
445	198025	88121125	1398,01	155528,83	21,095	7,635
446	198916	88716536	1401,15	156228,62	21,119	7,640
447	199809	89314623	1404,29	156929,98	21,142	7,646
448	200704	89915392	1407,43	157632,92	21,166	7,652
449	201601	90518849	1410,57	158337,42	21,189	7,657
450	202500	91125000	1413,72	159043,50	21,213	7,663
451	203401	91733851	1416,86	159751,14	21,237	7,669
452	204304	92345408	1420,00	160460,36	21,260	7,674
453	205209	92959677	1423,14	161171,14	21,284	7,680
454	206116	93576664	1426,28	161883,50	21,307	7,686
455	207025	94196375	1429,42	162597,43	21,331	7,691
456	207936	94818816	1432,56	163312,93	21,354	7,697
457	208849	95443993	1435,71	164030,20	21,377	7,703
458	209764	96071912	1438,85	164748,64	21,401	7,708
459	210681	96702579	1441,99	165468,85	21,424	7,714
460	211600	97336000	1445,13	166190,64	21,447	7,719
461	212521	97972181	1448,27	166913,99	21,471	7,725
462	213444	98611128	1451,41	167638,91	21,494	7,731
463	214369	99252847	1454,56	168365,41	21,517	7,736
464	215296	99897344	1457,70	169093,47	21,541	7,742
465	216225	100544625	1460,84	169823,11	21,564	7,747
466	217156	101194696	1463,98	170554,32	21,587	7,753
467	218089	101847563	1467,12	171287,10	21,610	7,758
468	219024	102503232	1470,26	172021,44	21,633	7,764
469	219961	103161709	1473,41	172757,36	21,656	7,769
470	220900	103823000	1476,55	173494,86	21,679	7,775
471	221841	104487111	1479,69	174233,92	21,702	7,780
472	222784	105154048	1482,83	174974,55	21,725	7,786
473	223729	105823817	1485,97	175716,75	21,749	7,791
474	224676	106496424	1489,11	176460,45	21,771	7,797
475	225625	107171875	1492,26	177205,87	21,794	7,802
476	226576	107850176	1495,36	177952,79	21,817	7,808
477	227529	108531333	1498,54	178701,27	21,840	7,813
478	228484	109215352	1501,68	179451,33	21,863	7,819
479	229441	109902239	1504,82	180202,96	21,886	7,824
480	230400	110592000	1507,96	180956,16	21,909	7,830
481	231361	111284641	1511,10	181710,92	21,932	7,835
482	232324	111980168	1514,25	182467,26	21,954	7,840
483	233289	112678587	1517,39	183225,18	21,977	7 846
484	234256	113379904	1520,53	183984,66	22,000	7,851
485	235225	114084125	1523,67	184745,71	22,023	7,857
486	236196	114791256	1526,81	185508,33	22,045	7,862
487	237169	115501303	1529,95	186272,53	22,069	7,868
488	238144	116214272	1533,10	187038,29	22,091	7,873
489	239121	116930169	1536,24	187805,63	22,113	7,878
490	240100	117649000	1539,38	188574,54	22,136	7,884
491	241081	118370771	1542,52	189345,01	22,158	7,889

Digitized by Google

NOMBRES ou diamètres.	CARRÉS.	CUBES.	CIRCONFÉRENCES.	CERCLES.	RACINES carrées.	RACINES cubiques.
492	242064	119095488	1545,66	190117,06	22,181	7,894
493	243049	119823157	1548,80	190890,68	22,204	7,899
494	244036	120553784	1551,95	191665,87	22,226	7,905
495	245025	121287375	1555,09	192442,63	22,248	7,910
496	246016	122023936	1558,23	193220,96	22,271	7,915
497	247009	122763473	1561,37	194000,86	22,293	7,921
498	248004	123505992	1564,51	194782,34	22,316	7,926
499	249001	124251499	1567,55	195565,38	22,338	7,932
500	250000	125000000	1570,80	196350,00	22,361	7,937
501	251001	125751501	1573,94	197136,18	22,383	7,942
502	252004	126506008	1577,08	197923,94	22,405	7,947
503	253009	127263527	1580,22	198713,26	22,428	7,953
504	254016	128024064	1583,36	199504,16	22,449	7,958
505	255025	128787625	1586,50	200296,63	22,472	7,963
506	256036	129554216	1589,64	201090,67	22,494	7,969
507	257049	130323843	1592,79	201886,28	22,517	7,974
508	258064	131096512	1595,93	202683,46	22,539	7,979
509	259081	131872229	1599,07	203481,70	22,561	7,984
510	260100	132651000	1602,21	204282,54	22,583	7,989
511	261121	133432831	1605,35	205084,43	22,605	7,995
512	262144	134217728	1608,49	205887,84	22,627	8,000
513	263169	135005697	1611,64	206692,93	22,649	8,005
514	264196	135796744	1614,78	207499,53	22,671	8,010
515	265225	136590875	1617,92	208307,71	22,694	8,016
516	266256	137388096	1621,06	209117,46	22,716	8,021
517	267289	138188413	1624,20	209928,78	22,738	8,026
518	268324	138991832	1627,34	210741,66	22,759	8,031
519	269361	139798359	1630,49	211556,12	22,782	8,036
520	270400	140608000	1633,63	212372,16	22,803	8,041
521	271441	141420761	1636,77	213189,76	22,825	8,047
522	272484	142236648	1639,93	214008,93	22,847	8,052
523	273529	143055667	1643,05	214829,67	22,869	8,057
524	274576	143877824	1646,19	215651,99	22,891	8,062
525	275625	144703125	1649,34	216475,87	22,913	8,067
526	276676	145531576	1652,48	217301,33	22,935	8,072
527	277729	146363183	1655,62	218128,35	22,956	8,077
528	278784	147197952	1658,76	218956,95	22,978	8,082
529	279841	148035889	1661,90	219787,12	23,000	8,087
530	280900	148877000	1665,04	220618,86	23,022	8,093
531	281961	149721291	1668,18	221452,16	23,043	8,098
532	283024	150568768	1671,33	222287,04	23,065	8,103
533	284089	151419437	1674,47	223123,50	23,087	8,108
534	285156	152273304	1677,61	223961,52	23,108	8,113
535	286225	153130375	1680,75	224801,11	23,130	8,118
536	287296	153990656	1683,84	225642,27	23,152	8,123
537	288369	154854153	1687,04	226484,01	23,173	8,128
538	289444	155720872	1690,18	227329,31	23,195	8,133
539	290521	156590819	1693,32	228175,19	23,216	8,138

Digitized by Google

NOMBRES ou diamètres.	CARRÉS.	CUBES.	CIRCONFÉRENCES.	CERCLES.	RACINES carrées.	RACINES cubiques.
540	291600	157464000	1696,46	229022,64	23,238	8,143
541	292681	158340421	1699,60	229871,65	23,259	8,148
542	293764	159220088	1702,74	230722,24	23,281	8,153
543	294849	160103007	1705,88	231574,40	23,302	8,158
544	295936	160989184	1709,03	232428,13	23,324	8,163
545	296025	161878625	1712,17	233283,43	23,345	8,168
546	298116	162771336	1715,31	234140,30	23,367	8,173
547	299209	163667323	1718,45	234998,74	23,388	8,178
548	300304	164566592	1721,59	235858,76	23,409	8,183
549	301401	165469149	1724,73	236720,34	23,431	8,188
550	302500	166375000	1727,88	237583,50	23,452	8,193
551	303601	167284151	1731,02	238448,22	23,473	8,198
552	304704	168196608	1734,16	239314,52	23,495	8,203
553	305809	169112377	1737,30	240182,83	23,516	8,208
554	306916	170031464	1740,44	241051,82	23,537	8,213
555	308025	170953875	1743,58	241922,38	23,558	8,218
556	309136	171879616	1746,72	242795,41	23,579	8,223
557	310249	172808693	1749,87	243669,56	23,601	8,228
558	311364	173741112	1753,01	244545,28	23,622	8,233
559	312481	174676879	1756,15	245422,57	23,643	8,238
560	313600	175616000	1759,29	246301,44	23,664	8,242
561	314721	176558481	1762,43	247181,87	23,685	8,247
562	315844	177504328	1765,57	248063,87	23,706	8,252
563	316969	178453547	1768,72	248947,43	23,728	8,257
564	318096	179406144	1771,86	249832,59	23,749	8,262
565	319225	180362125	1775,00	250719,31	23,769	8,267
566	320356	181321496	1778,14	251607,60	23,791	8,272
567	321489	182284263	1781,28	252497,36	23,812	8,277
568	322624	183250432	1784,42	253388,88	23,833	8,282
569	323761	184220009	1787,57	254281,88	23,854	8,286
570	324900	185193000	1790,71	255176,64	23,875	8,291
571	326041	186166411	1793,85	256072,60	23,896	8,296
572	327184	187149248	1796,99	256970,31	23,916	8,301
573	328329	188132517	1800,13	257869,59	23,937	8,306
574	329476	189119224	1803,27	258770,45	23,958	8,311
575	330625	190109375	1806,42	259672,87	23,979	8,315
576	331776	191102976	1809,56	260576,87	24,000	8,320
577	332929	192100033	1812,80	261482,43	24,021	8,325
578	334084	193100552	1815,84	262388,57	24,042	8,330
579	335241	194104539	1818,98	263298,28	24,062	8,335
580	336400	195112000	1822,12	264208,56	24,083	8,339
581	337561	196122941	1825,26	265120,46	24,104	8,344
582	338724	197137368	1828,41	266033,82	24,125	8,349
583	339889	198155287	1831,55	266948,82	24,145	8,354
584	341056	199176704	1834,69	267865,38	24,166	8,359
585	342225	200201625	1837,83	268783,57	24,187	8,363
586	343396	201230056	1840,97	269703,21	24,207	8,368
587	344569	202262003	1844,11	270624,49	24,228	8,373

Digitized by Google

NOMBRES ou diamètres.	CARRÉS.	CUBES.	CIRCONFÉRENCES.	CERCLES.	RACINES carrées.	RACINES cubiques.
588	345744	203297472	1847,26	271547,33	24,249	8,378
589	346921	204336469	1850,40	272471,75	24,269	8,382
590	348100	205379000	1853,54	273397,74	24,289	8,387
591	349281	206425071	1856,68	274325,29	24,310	8,392
592	350464	207474688	1859,82	275254,42	24,331	8,397
593	351649	208527857	1862,96	276185,12	24,351	8,401
594	352836	209584584	1866,11	277117,39	24,372	8,406
595	354025	210644875	1869,25	278051,23	24,393	8,411
596	355216	211708736	1872,39	278986,64	24,413	8,415
597	356409	212776173	1875,53	279923,62	24,433	8,420
598	357604	213847192	1878,67	280862,18	24,454	8,425
599	358801	214921799	1881,81	281802,30	24,474	8,429
600	360000	216000000	1884,96	282744,00	24,495	8,434
601	361201	217081801	1888,10	283687,26	24,515	8,439
602	362404	218167208	1891,24	284632,10	24,536	8,444
603	363609	219256227	1894,38	285578,50	24,556	8,448
604	364816	220348864	1897,52	286526,48	24,576	8,453
605	366025	221445125	1900,66	287476,03	24,597	8,458
606	367236	222545016	1903,80	288426,15	24,617	8,462
607	368449	223648543	1906,95	289379,84	24,637	8,467
608	369664	224755712	1910,09	290334,10	24,658	8,472
609	370881	225866529	1913,23	291289,93	24,678	8,476
610	372100	226981000	1916,37	292247,34	24,698	8,481
611	373321	228099131	1919,51	293206,31	24,718	8,485
612	374544	229220928	1922,65	294166,85	24,739	8,490
613	375769	230346397	1925,80	295128,97	24,759	8,495
614	376996	231475544	1928,94	296092,65	24,779	8,499
615	378225	232608375	1932,08	297057,91	24,779	8,504
616	379456	233744896	1935,22	298024,74	24,819	8,509
617	380689	234885113	1938,36	298993,14	24,839	8,513
618	381924	236029032	1941,50	299963,00	24,859	8,518
619	383161	237176659	1944,65	300934,64	24,879	8,522
620	384400	238328000	1947,79	301907,76	24,899	8,527
621	385641	239483061	1950,93	302882,44	24,919	8,532
622	386884	240641848	1954,07	303858,69	24,939	8,536
623	388129	241804367	1957,21	304836,51	24,959	8,541
624	389376	242970624	1960,35	305815,91	24,980	8,545
625	390625	244140625	1963,50	306796,87	25,000	8,549
626	391876	245314376	1966,64	307779,41	25,019	8,554
627	393129	246491883	1969,78	308763,41	25,040	8,559
628	394384	247673152	1972,22	309749,19	25,059	8,563
629	395641	248858189	1976,06	310736,44	25,079	8,568
630	396900	250047000	1979,20	311725,26	25,099	8,573
631	398161	251239591	1982,34	312715,64	25,119	8,577
632	399424	252435968	1985,49	313707,58	25,139	8,582
633	400689	253636137	1988,63	314701,14	25,159	8,586
634	401956	254840104	1991,77	315696,64	25,179	8,591
635	403225	256047875	1994,91	316692,91	25,199	8,595

Digitized by Google

NOMBRES OU diamètres.	CARRÉS.	CUBES.	CIRCONFÉRENCES.	CERCLES.	RACINES carrées.	RACINES cubiques.
636	404496	257259456	1998,05	317691,15	25,219	8,599
637	405769	258474853	2001,19	318690,97	25,239	8,604
638	407044	259694072	2004,34	319692,35	25,259	8,609
639	408321	260917119	2007,48	320695,31	25,278	8,613
640	409600	262144000	2010,62	321699,84	25,298	8,618
641	410881	263374721	2013,76	322705,93	25,318	8,622
642	412164	264609288	2016,90	323713,60	25,338	8,627
643	413449	265847707	2020,04	324722,84	25,357	8,631
644	414736	267089984	2023,19	325733,65	25,377	8,636
645	416025	268336125	2026,33	326746,03	25,397	8,640
646	417316	269586136	2029,47	327759,98	25,416	8,644
647	418609	270840023	2032,61	328775,50	25,436	8,649
648	419904	272097792	2035,76	329792,60	25,456	8,653
649	421201	273359449	2038,89	330811,26	25,475	8,658
650	422500	274625000	2042,04	331831,50	25,495	8,662
651	423801	275894451	2045,18	332853,40	25,515	8,667
652	425104	277167808	2048,32	333876,68	25,534	8,671
653	426409	278445077	2051,46	334901,62	25,554	8,676
654	427716	279726264	2054,60	335928,14	25,573	8,680
655	429025	281011375	2057,74	336956,23	25,593	8,684
656	430336	282300416	2060,88	337985,89	25,612	8,689
657	431649	283593393	2064,03	339017,12	25,632	8,693
658	432964	284890312	2067,17	340049,92	25,651	8,698
659	434281	286191179	2070,31	341084,29	25,671	8,702
660	435600	287496000	2073,45	342120,24	25,690	8,706
661	436921	288804781	2076,59	343157,75	25,710	8,711
662	438244	290117528	2079,73	344196,33	25,729	8,715
663	439569	291434247	2082,88	345237,49	25,749	8,719
664	440896	292754944	2086,02	346279,71	25,768	8,724
665	442225	294079625	2089,16	347323,51	25,787	8,728
666	443556	295408296	2092,30	348368,88	25,807	8,733
667	444889	296740963	2095,44	349416,40	25,826	8,737
668	446224	298077632	2098,58	350464,32	25,846	8,742
669	447561	298418309	2101,73	351514,30	25,865	8,746
670	448900	300763000	2104,87	352566,06	25,884	8,750
671	450241	302111711	2108,01	353619,28	25,904	8,753
672	451584	303464448	2111,15	354674,07	25,923	8,759
673	452929	304821217	2114,29	355730,43	25,942	8,763
674	454276	306182024	2117,43	356788,37	25,961	8,768
675	455625	307546875	2120,58	357847,87	25,981	8,772
676	456976	308915776	2123,72	358908,93	26,000	8,776
677	458329	310288733	2126,86	359971,59	26,019	8,781
678	459684	311665752	2130,00	361035,81	26,038	8,785
679	461401	313046839	2133,14	362101,60	26,058	8,789
680	462400	314432000	2136,28	363168,96	26,077	8,794
681	463761	315821241	2139,42	364237,88	26,096	8,798
682	465124	317214568	2142,57	365308,38	26,115	8,802
683	466489	318611987	2145,71	366380,40	26,134	8,807

Digitized by Google

NOMBRES ou diamètres.	CARRÉS.	CUBES.	CIRCONFÉRENCES.	CERCLES.	RACINES carrées.	RACINES cubiques.
684	467856	320013504	2148,85	367454,10	26,153	8,811
685	469225	321419125	2151,99	368529,31	26,172	8,815
686	470596	322828856	2155,13	369605,60	26,192	8,819
687	471969	324242703	2158,27	370684,45	26,211	8,824
688	473344	325660672	2161,42	371764,37	26,229	8,828
689	474721	327082769	2164,56	372845,87	26,249	8,832
690	476100	328509000	2167,70	373928,94	26,268	8,836
691	477481	329939371	2170,84	375013,57	26,287	8,841
692	478864	331373888	2173,98	376099,78	26,306	8,845
693	480249	332812557	2177,12	377187,56	26,325	8,849
694	481636	334255384	2180,27	378276,91	26,344	8,853
695	483025	335702375	2183,41	379367,83	26,363	8,858
696	484416	337153536	2186,55	380460,32	26,382	8,862
697	485809	338608873	2189,69	381554,38	26,401	8,866
698	487204	340068392	2192,83	382650,02	26,419	8,870
699	488601	341532099	2195,97	383747,22	26,439	8,875
700	490000	343000000	2199,12	384846,00	26,457	8,879
701	491401	344472101	2202,26	385945,92	26,476	8,883
702	492804	345948408	2205,40	387048,26	26,495	8,887
703	494209	347428927	2208,54	388151,74	26,514	8,892
704	495616	348913664	2211,68	389256,80	26,533	8,896
705	497025	350402625	2214,82	390363,43	26,552	8,900
706	498436	351895816	2217,96	391471,63	26,571	8,904
707	498849	353393243	2221,11	392581,40	26,589	8,908
708	501264	354894912	2224,25	393692,74	26,608	8,913
709	502681	356400829	2227,39	394805,65	26,627	8,917
710	504100	357911000	2230,53	395920,14	26,645	8,921
711	505521	359425431	2233,67	397036,19	26,664	8,925
712	506944	360944128	2236,81	398151,81	26,683	8,929
713	508369	362467097	2239,96	399273,01	26,702	8,934
714	509796	363994344	2243,10	400393,73	26,721	8,938
715	511225	365525875	2246,24	401516,11	26,739	8,942
716	512656	367061696	2249,38	402640,02	26,758	8,946
717	514089	368601813	2252,52	403765,50	26,777	8,950
718	515524	370146232	2255,66	404892,54	26,795	8,954
719	516961	371694959	2258,81	406021,16	26,814	8,959
720	518400	373248000	2261,95	407151,36	26,823	8,963
721	519841	374805361	2265,09	408283,32	26,851	8,967
722	521284	376367048	2268,23	409416,45	26,870	8,971
723	522729	377933067	2271,37	410551,25	26,889	8,975
724	524176	379503424	2274,51	411687,93	26,907	8,979
725	525625	381078125	2277,66	412825,87	26,926	8,983
726	527076	382657176	2280,80	413965,24	26,944	8,988
727	528529	384240583	2283,94	415106,06	26,963	8,992
728	529984	385828352	2287,08	416249,43	26,981	8,996
729	531441	387420489	2290,22	417393,76	27,000	9 000
730	532900	389017000	2293,36	418339,66	27,018	9 004
731	534361	390617891	2296,50	419687,12	27,037	9,008

Digitized by Google

NOMBRES ou diamètres.	CARRÉS.	CUBES.	CIRCONFÉRENCES.	CERCLES.	RACINES carrées.	RACINES cubiques.
732	535824	392223168	2299,65	420836,14	27,055	9,012
733	537289	393832837	2302,79	421986,78	27,074	9,016
734	538756	395446904	2305,93	423138,96	27,092	9,020
735	540225	397065375	2309,07	424292,71	27,111	9,023
736	541696	398688256	2312,21	425442,03	27,129	9,029
737	543169	400315553	2315,35	426604,93	27,148	9,033
738	544644	401947272	2318,50	427763,39	27,166	9,037
739	546121	403583419	2321,64	428923,43	27,184	9,041
740	547600	405224000	2324,78	430085,04	27,203	9,045
741	549081	406869021	2327,92	431248,21	27,221	9,049
742	550564	408518488	2331,06	432412,96	27,239	9,053
743	552049	410172407	2334,20	433579,28	27,258	9,057
744	553536	411830784	2337,35	434747,17	27,276	9,061
745	555025	413493625	2340,49	435916,63	27,295	9,065
746	556516	415160936	2343,63	437087,66	27,313	9,069
747	558009	416832723	2346,77	438260,26	27,331	9,073
748	559504	418508992	2349,91	439434,48	27,349	9,077
749	561001	420189749	2353,05	440610,18	27,368	9,081
750	562500	421875000	2356,20	441787,50	27,386	9,086
751	564001	423564751	2359,34	442966,38	27,404	9,089
752	565504	425259008	2362,48	444146,84	27,423	9,094
753	567009	426957777	2365,62	445328,86	27,441	9,098
754	568516	428661064	2368,76	446512,46	27,459	9,102
755	570025	430368875	2371,90	447697,63	27,477	9,106
756	571536	432081216	2375,04	448884,37	27,495	9,109
757	573049	433798093	2378,19	450072,68	27,514	9,114
758	574564	435519512	2381,33	451262,56	27,532	9,118
759	576081	437245479	2384,47	452454,01	27,549	9,122
760	577600	438976000	2387,61	453647,04	27,568	9,126
761	579121	440711081	2390,75	454841,63	27,586	9,129
762	580644	442450728	2393,89	456037,87	27,604	9,134
763	582169	444194947	2397,04	457235,53	27,622	9,138
764	583696	445943744	2400,18	458435,83	27,640	9,142
765	585225	447697125	2403,32	459635,71	27,659	9,146
766	586756	449455096	2406,46	460838,16	27,677	9,149
767	588289	451217663	2409,60	462042,18	27,695	9,154
768	589824	452984832	2412,74	463247,76	27,713	9,158
769	591361	454756609	2415,98	464454,92	27,731	9,162
770	592900	456533000	2419,03	465663,66	27,749	9,166
771	594441	458314011	2422,17	466873,96	27,767	9,170
772	595984	460099648	2425,31	468085,83	27,785	9,174
773	597529	461889917	2428,45	469299,27	27,803	9,178
774	599076	463684824	2431,59	470514,29	27,821	9,182
775	600625	465484375	2434,74	471730,87	27,839	9,185
776	602176	467288576	2437,88	472949,03	27,857	9,189
777	603729	469097433	2441,02	474168,75	27,875	9,193
778	605284	470910952	2444,16	475390,05	27,893	9,197
779	606841	472729139	2447,30	476612,92	27,911	9,201

Digitized by Google

NOMBRES OU diamètres.	CARRÉS.	CUBES.	CIRCONFÉRENCES.	CERCLES.	RACINES carrées.	RACINES cubiques.
780	608400	474552000	2450,44	477837,36	27,928	9,205
781	609961	476379541	2453,58	479063,56	27,946	9,209
782	611524	478211768	2456,73	480290,94	27,964	9,213
783	613089	480048687	2459,87	481520,10	27,982	9,217
784	614656	481890304	2463,01	482750,82	28,000	9,221
785	616225	483736625	2466,15	483983,11	28,018	9,225
786	617796	485587656	2469,29	485216,97	28,036	9,229
787	619369	487443403	2472,43	486452,41	28,054	9,233
788	620944	489303872	2475,58	487689,73	28,071	9,237
789	622521	491169069	2478,72	488927,99	28,089	9,240
790	624100	493039000	2481,86	490168,14	28,107	9,244
791	625681	494913671	2485,00	491409,85	28,125	9,248
792	627264	496793088	2488,14	492653,14	28,142	9,252
793	628849	498677257	2491,28	493898,30	28,160	9,256
794	630436	500566184	2494,43	495144,43	28,178	9,260
795	632025	502459875	2497,57	496392,43	28,196	9,264
796	633616	504358336	2500,71	497642,40	28,213	9,268
797	635209	506261573	2503,85	498893,14	28,231	9,272
798	636804	508169592	2506,99	500145,86	28,249	9,275
799	638401	510082399	2510,13	501400,14	28,267	9,279
800	640000	512000000	2513,28	502656,00	28,284	9,283
801	641601	513922401	2516,42	503913,42	28,302	9,287
802	643204	515849608	2519,56	505172,43	28,320	9,291
803	644809	517781627	2522,70	506432,98	28,337	9,295
804	646416	519718464	2525,84	507695,52	28,355	9,299
805	648025	521660125	2528,98	508958,83	28,373	9,302
806	649636	523606616	2532,12	510224,11	28,390	9,306
807	651249	525557943	2535,27	511490,96	28,408	9,310
808	652864	527514112	2538,41	512759,38	28,425	9,314
809	654481	529475129	2541,55	514029,37	28,443	9,318
810	656100	531441000	2544,09	515300,94	28,460	9,322
811	657721	533411731	2547,83	516574,07	28,478	9,326
812	659344	535387328	2550,97	517848,77	28,496	9,329
813	660969	537367797	2554,12	519125,05	28,513	9,333
814	662596	539353144	2557,26	520402,85	28,531	9,337
815	664225	541343375	2560,40	521682,31	28,548	9,341
816	665856	543338496	2563,54	522663,30	28,566	9,345
817	667489	545338513	2566,68	524245,86	28,583	9,348
818	669124	547343432	2569,82	525529,98	28,601	9,352
819	670761	549353259	2572,97	526815,68	28,618	9,356
820	672400	551368000	2576,11	528102,96	28,636	9,360
821	674041	553387661	2579,25	529391,80	28,653	9,364
822	675684	555412248	2582,39	530682,21	28,671	9,368
823	677329	557441767	2585,53	531974,39	28,688	9,371
824	678976	559476224	2588,67	533267,75	28,705	9,375
825	680625	561515625	2591,82	534562,87	28,723	9,379
826	682276	563559976	2594,96	535859,57	28,740	9,383
827	683929	565609283	2598,10	537158,83	28,758	9,386

Digitized by Google

NOMBRES ou diamètres.	CARRÉS.	CUBES.	CIRCONFÉRENCES.	CERCLES.	RACINES carrées.	RACINES cubiques.
828	685584	567663552	2601,24	538457,62	28,775	9,390
829	687241	569722789	2604,38	539759,08	28,792	9,394
830	688900	571787000	2607,52	541062,06	28,810	9,398
831	690561	573856191	2610,66	542366,60	28,827	9,402
832	992224	575930368	2613,81	543672,72	28,844	9,405
833	693889	578009537	2616,95	544980,52	28,862	9,409
834	695556	580093704	2620,09	546289,68	28,879	9,413
835	697225	582182875	2623,23	547600,51	28,896	9,417
836	698896	584277056	2626,37	548912,91	28,914	9,420
837	700569	586376253	2629,51	550226,89	28,931	9,424
838	702244	588480472	2632,64	551542,43	28,948	9,428
839	703921	590589719	2635,80	552859,58	28,965	9,432
840	705600	592704000	2638,94	554178,24	28,983	9,435
841	707281	594823321	2642,08	555498,49	29,000	9,439
842	708964	596947688	2645,22	556820,32	29,017	9,443
843	710649	599077107	2648,36	558143,72	29,034	9,447
844	712336	601211584	2651,51	559468,69	29,052	9,450
845	714025	603351125	2654,65	560795,23	29,069	9,454
846	715716	605495736	2657,79	562123,34	29,086	9,458
847	717409	607645423	2660,93	563452,82	29,103	9,462
848	719104	609800192	2664,07	564784,28	29,120	9,465
849	720801	611960049	2667,21	566117,10	29,138	9,469
850	722500	614125000	2670,36	567451,59	29,155	9,473
851	724201	616295051	2673,50	568787,46	29,172	9,476
852	725904	618470208	2676,64	570125,00	29,189	9,480
853	727609	620650477	2679,78	571464,10	29,206	9,484
854	729316	622835864	2682,92	572804,78	29,223	9,488
855	731025	625026375	2686,06	574147,03	29,240	9,491
856	732736	627222016	2689,20	575490,85	29,257	9,495
857	734449	629422793	2692,35	576836,24	29,275	9,499
858	736164	631628712	2695,49	578183,20	29,292	9,502
859	737881	633839779	2698,63	579531,73	29,309	9,506
860	739600	636056000	2701,77	580881,84	29,326	9,510
861	741321	638277381	2704,91	582233,51	29,343	9,513
862	743044	640503928	2708,05	583586,75	29,360	9,517
863	744769	642735647	2711,20	584941,57	29,377	9,521
864	746496	644972544	2714,34	586297,95	29,394	9,524
865	748225	647214625	2717,48	587655,91	29,411	9,528
866	749956	649461896	2720,62	589015,41	29,428	9,532
867	751689	651714363	2723,76	590376,54	29,445	9,535
868	753424	653972032	2726,90	591739,20	29,462	9,539
869	755161	656234909	2730,05	593103,44	29,479	9,543
870	756900	658503000	2733,19	594469,26	29,496	9,546
871	758641	660776311	2736,33	595836,44	29,513	9,550
872	760384	663054848	2739,87	597205,59	29,530	9,554
873	762129	665338617	2742,61	598576,91	29,547	9,557
874	763876	667627624	2745,75	599948,21	29,563	9,561
875	765625	669921875	2748,90	601321,87	29,580	9,565

Digitized by Google

NOMBRES OU dl. mètres.	CARRÉS.	CUBES.	CIRCONFÉRENCES.	CERCLES.	RACINES carrées.	RACINES cubiques.
876	767376	672221376	2752,04	602697,11	29,597	9,568
877	769129	674526133	2755,18	604073,91	29,614	9,572
878	770884	676836152	2758,32	605451,49	29,631	9,576
879	772641	679151439	2761,46	606832,24	29,648	9,579
880	774400	681472000	2764,60	608213,76	29,665	9,583
881	776161	683797841	2767,74	609596,84	29,682	9,586
882	777924	686128968	2770,89	610981,50	29,698	9,590
883	779689	688465387	2774,03	612367,74	29,716	9,594
884	781456	690807104	2777,17	613755,54	29,732	9,597
885	783225	693154125	2780,31	615144,91	29,749	9,601
886	784996	695506456	2783,45	616535,85	29,766	9,605
887	786769	697864103	2786,59	617928,37	29,783	9,608
888	788544	700227072	2789,75	619322,45	29,799	9,612
889	790321	702595369	2792,88	620718,11	29,816	9,615
890	792100	704969000	2796,02	622115,34	29,833	9,619
891	793881	707347971	2799,16	623514,13	29,850	9,623
892	795664	709732288	2802,30	624914,50	29,866	9,626
893	797449	712121957	2805,44	626316,44	29,883	9,630
894	799236	714516984	2808,59	627719,95	29,900	9,633
895	801025	716917375	2811,73	629124,35	29,917	9,637
896	802816	719323136	2814,87	630531,68	29,933	9,641
897	804609	721734273	2818,01	631939,90	29,950	9,644
898	806404	724150792	2821,15	633349,70	29,967	9,648
899	808201	726572699	2824,29	634760,13	29,983	9,651
900	810000	729000000	2827,44	636174,00	30,000	9,655
901	811801	731432701	2830,58	637588,50	30,017	9,658
902	813604	733870808	2833,72	639004,58	30,033	9,662
903	815409	736314327	2836,86	640422,22	30,050	9,666
904	817216	738763264	2840,00	641841,44	30,067	9,669
905	819025	741216625	2843,14	643262,23	30,083	9,673
906	820836	743677416	2846,28	644684,74	30,100	9,676
907	822649	746142643	2849,43	646108,52	30,116	9,680
908	824464	748613312	2852,57	647534,02	30,133	9,683
909	826281	751089429	2855,71	648961,09	30,150	9,687
910	828100	753571000	2858,85	650389,74	30,166	9,691
911	829921	756058031	2861,99	651819,95	30,183	9,694
912	831744	758550528	2865,13	653251,73	30,199	9,698
913	833569	761048497	2868,27	654684,09	30,216	9,701
914	835396	763551944	2871,42	656120,81	30,232	9,705
915	837225	766060875	2874,56	657556,51	30,249	9,708
916	839056	768575296	2877,70	658994,58	30,265	9,712
917	840889	771095213	2880,84	660432,22	30,282	9,715
918	842724	773620632	2883,98	661875,42	30,299	9,719
919	844561	776151559	2887,13	663318,20	30,315	9,722
920	846400	778688000	2890,27	664762,56	30,332	9,726
921	848241	781229961	2893,41	666208,48	30,348	9,729
922	850084	783777448	2896,55	667655,97	30,364	9,733
923	851929	786330467	2899,69	669104,61	30,381	9,736

Digitized by Google

NOMBRES OU diamètres.	CARRÉS.	CUBES.	CIRCONFÉRENCES.	CERCLES.	RACINES carrées.	RACINES cubiques.
924	853776	788889024	2902,83	670555,67	30,397	9,740
925	855625	791453125	2905,98	672007,87	30,414	9,743
926	857476	794022776	2909,12	673461,65	30,430	9,747
927	859329	796597983	2912,26	674916,99	30,447	9,750
928	861184	799178752	2915,40	676373,91	30,463	9,754
929	863041	801765089	2918,54	677832,40	30,480	9,758
930	864900	804357000	2921,68	679292,46	30,496	9,761
931	866761	806954491	2924,82	680754,08	30,512	9,764
932	868624	809557568	2927,97	682217,30	30,529	9,768
933	870489	812166237	2931,11	683682,06	30,545	9,771
934	872356	814780504	2934,25	685148,40	30,561	9,775
935	874225	817400375	2937,39	686616,31	30,578	9,778
936	876096	820025856	2940,53	688085,79	30,594	9,783
937	877969	822656953	2943,67	689556,85	30,610	9,785
938	879844	825293672	2946,82	691029,47	30,627	9,789
939	881721	827936019	2949,96	692503,67	30,643	9,792
940	883600	830584000	2953,10	693979,44	30,659	9,796
941	885481	833237621	2956,24	695456,77	30,676	9,799
942	887364	835896888	2959,38	696935,68	30,692	9,803
943	889249	838561807	2962,52	698416,14	30,708	9,806
944	891136	841232384	2965,67	699898,21	30,725	9,810
945	893025	843908625	2968,81	701381,83	30,741	9,813
946	894916	846590536	2971,95	702867,02	30,757	9,817
947	896809	849278123	2975,09	704352,25	30,773	9,820
948	898704	851971392	2978,23	705841,80	30,790	9,824
949	900601	854670349	2981,37	707332,02	30,806	9,827
950	902500	857375000	2984,52	708823,50	30,822	9,830
951	904401	860085351	2987,66	710316,54	30,838	9,834
952	906304	862801408	2990,80	711811,16	30,854	9,837
953	908209	865523177	2993,94	713307,34	30,871	9,841
954	910116	868250664	2997,08	714805,10	30,887	9,844
955	912025	870983875	3000,22	716304,43	30,903	9,848
956	913936	873722816	3003,36	717805,33	30,919	9,851
957	915849	876467493	3006,51	719307,80	30,935	9,855
958	917764	879217912	3009,65	720811,84	30,952	9,858
959	919681	881974079	3012,79	722317,45	30,968	9,861
960	921600	884736000	3015,93	723824,64	30,984	9,865
961	923521	887503681	3019,07	725333,39	31,000	9,868
962	925444	890277128	3022,21	726843,71	31,016	9,872
963	927369	893056347	3025,36	728355,61	31,032	9,875
964	929296	895841344	3028,50	729869,07	31,048	9,879
965	931225	898632125	3031,64	731384,11	31,064	9,882
966	933156	901428696	3034,78	732900,72	31,081	9,885
967	935089	904231063	3037,92	734418,90	31,097	9,889
968	937024	907039232	3041,06	735938,64	31,113	9,892
969	938961	909853209	3044,21	737459,96	31,129	9,896
970	940900	912673000	3047,35	738982,86	31,145	9,899
971	942841	915498611	3050,49	740507,32	31,161	9,902

Digitized by Google

NOMBRES ou diamètres.	CARRÉS.	CUBES.	CIRCONFÉRENCES.	CERCLES.	RACINES carrées.	RACINES cubiques.
972	944784	918330048	3053,63	742033,35	31,177	9,906
973	946729	921167317	3056,77	743560,95	31,193	9,909
974	948676	924010424	3059,91	745090,13	31,209	9,913
975	950625	926859375	3063,06	746620,87	31,225	9,916
976	952576	929714176	3066,20	748153,19	31,241	9,919
977	954529	932574833	3069,34	749687,07	31,257	9,923
978	956484	935441352	3072,48	751222,53	31,273	9,926
979	958441	938313739	3075,62	752759,56	31,289	9,930
980	960400	941192000	3078,76	754298,16	31,305	9,933
981	962361	944076141	3081,90	755838,32	31,321	9,936
982	964324	946966168	3085,05	757380,06	31,337	9,940
983	966289	949862087	3088,19	758923,38	31,353	9,943
984	968256	952763904	3091,33	760468,26	31,369	9,946
985	970225	955671625	3094,47	762014,71	31,385	9,950
986	972196	958585256	3097,61	763562,73	31,401	9,953
987	974169	961504803	3100,75	765119,93	31,417	9,956
988	976144	964430272	3103,89	766663,49	31,432	9,960
989	978121	967361669	3107,04	768216,23	31,448	9,963
990	980100	970299000	3110,18	769770,54	31,464	9,967
991	982081	973242271	3113,32	771326,41	31,480	9,970
992	984064	976191488	3116,46	772883,86	31,496	9,973
993	986049	979146657	3119,60	774442,88	31,512	9,977
994	988036	982107784	3122,75	776003,47	31,528	9,980
995	990025	985074875	3125,89	777565,63	31,544	9,983
996	992016	988047936	3129,03	779129,36	31,559	9,987
997	994009	991026973	3132,17	780693,66	31,575	9,990
998	996004	994011992	3135,31	782200,54	31,591	9,993
999	998001	997002999	3138,45	783829,98	31,607	9,997
1000	1000000	1000000000	3141,59	785400,00	31,623	10,000

PROPOSITION II. — L'extraction des racines des degrés élevés s'obtient par l'emploi de logarithmes, et à défaut de ces tables, par la formule suivante :

$$\sqrt[n]{A} = \frac{(n-1)\,a^{n+1} + (n+1)\,aA}{(n+1)\,a^n + (n-1)\,A}$$

On arrive à l'extraction demandée par tâtonnement. Il s'agit de trouver un nombre (a) qui se rapproche le plus de la racine (n) appartenant à la valeur donnée (A) et de substituer ce nombre dans la formule; en recommençant cette opération on obtient une seconde approximation.

Digitized by Google

PROPOSITION III. — Relevé des mesures, des poids et des monnaies de tous les pays du globe, d'après l'ordre alphabétique.

ABYSSINIE.

Longueurs en mètres.

Pik	0,69

Volumes en mètres cubes.

Ardeb	0,011
Kuba	0,001

Poids en kilog.

Rotolo	34
Kaletar	0,50
Walkaes	0,15

AFRIQUE INDIGÈNE.

(Voir la Turquie, l'Égypte et l'Arabie.)

ALGÉRIE.

(Système français.)

AMÉRIQUE.

(Voir les divers États qui composent ce continent.)

ANGLETERRE (GRANDE-BRETAGNE).

Longueurs en mètres.

Circonférence de la terre 360 degrés ou 7200 lieues.	40000000
Lieue géographique	5569
Mille marin ou mille géographique	1854
Mille (1700 yards)	1069,32
Furlong (320 yards)	201,16
Chain (66 pieds)	20,13
Pole ou perche (5,5 yards)	5,029
Fathom (2 yards)	1,828
Yard impérial	0,914
Foot (pied 1/3 yard)	0,305
Pied de Malte	0,183
Inch (1/36 yard)	0,025

Surfaces en mètres carrés.

Acre (4840 yards carrés)	4046,71
Rood (1210 yards carrés)	1011,68
Rod (perche carrée)	15,29
Yard carré	0,837

Volumes en mètres cubes.

Chaldron (12 sacks)	1,309
Quarter (8 bushels)	0,291
Sack (3 bushels)	0.109
Bushel (8 gallons)	0,036
Peck (2 gallons)	0,091
Gallon	0,0045
Quart	0,0011
Pint	0,0006

Poids (avoir du poids) en kilog.

Ton (20 quintaux ou 2240 livres)	1015,65
Hundred weigth (quintal de 112 livres)	50,78
Pound impérial (livre)	0,453
Once (1/16 livre)	0,028
Dram (1/16 once)	0,00177

Poids (troy) en kilog.

Pound (livre)	0,375
Once (1/12 livre)	0,031
Penny weigth (1/20 once)	0,0016
Grain (1/24 penny weigth)	0,000065

Monnaies en francs.

Double souverain	50
Guinée (21 schellings)	26, 25
(Demie, tiers, quart de guinée, valeur proportionnelle.)	
Livre sterling (pound 20 schellings ou sols sterling)	25
Half pound (demi-livre sterling)	12, 50
Crown (couronne de 5 schellings)	6, 25
Dollar (écu de banque)	5, 37
Half crown (demi-couronne de 2 schellings, 6 pence)	3, 12
Shelling (1 sol sterling 12 pence) =	1, 25
Penny ou pence (denier) =	0,104
Half-penny (1/2 denier) =	0,052
Six-pence (1/2 schelling six pences) =	0,625
Four-pence (1/3 de schelling 4 pences) =	0,417
Two-pence (1/6 de schelling, 2 pences) =	0,208
Farthing (liard) =	0,026

ANHALT (Duché).

(Comme la Prusse.)

ARABIE.

Longueurs en mètres.

Covid	0,48

Poids en kilog.

Mahnd	1,5

Monnaies en francs.

(Comme en Turquie.)

Digitized by Google

AUSTRALIE.

(Colonies anglaises, comme l'Angleterre.)

AUTRICHE.

Longueurs en mètres.

Mille d'Autriche	7586
Mille de Hongrie	8356
Mille de Bohême	6910
Mille de Venise	1834
Mille marin	1852
Klafter	1,90
Aune de Vienne	0,779
Brasse de Vienne	0,639
Pied d'Autriche	0,316
Pied de Bohême	0,296
Pied de Venise	0,317

Surfaces en mètres carrés.

Arpent (Joch)	5755,45
Pfund	298
Klafter carré	3,6

Volumes en mètres cubes.

Klafter cube	3,41
Metzen	0,061

Poids en kilog.

Tonneau	1120
Quintal de Vienne	56
Quintal de douane	50
Livre	0,56
Livre de douane	0,50

Monnaies en francs.

Pièce de 10 florins	21, 40
Souverain d'Autriche	18, 40
Ducat de Hongrie	11, 90
Ducat de l'Empire	11, 86
Rixdale de convention	5, 20
Couronne	5, 15
Florin (60 kreutzer)	2, 50
Pièce de 20 kreutzer	0, 86
Kreutzer	0,043
Pfenning	0, 01

BADE (grand duché).

Longueurs en mètres.

Lieue	4444
Pied (dix pouces)	0,3
Pouce (dix lignes)	0,03

Surfaces en mètres carrés.

Arpent	300
Perche	3

Volumes en mètres cubes.

Klafter	3,89

Poids en kilog.

Quintal	50
Livre	0,5

Monnaies en francs.

Florin	2,10
Kreutzer	0,0058
Pfenning	0,009

BAVIÈRE.

Longueurs en mètres.

Mille	7,426
Aune de Munich	0,833
Pied de Munich	0,292
Pied d'Augsbourg	0,296
Lieue décimale du Palatinat.	4,444
Pied décimal	0,03

Surfaces en mètres carrés.

Arpent	3707
Perche carrée	8,52

Volumes en mètres cubes.

Klafter	3,13
Eimer	0,068
Metzen	0,037

Poids en kilog.

Quintal	56
Livre	0,56
Quintal décimal	50
Livre décimale	0,5

Monnaies en francs.

Carolin	25, 66
Maximilien	17, 18
Couronne	5, 72
Rixdale	5, 19
Florin	2, 10
Kopfstuck	0, 83
Kreutzer	0,0358

BELGIQUE (1).

Longueurs en mètres.

Lieue métrique	5000
Mille métrique	1000
Lieue de Flandre	6277
Lieue de Brabant	5521

(1) Les monnaies étrangères n'ayant pas cours légal en Belgique ne peuvent être reçues dans les bureaux des chemins de fer de l'état qu'aux prix suivants :

1 Frédéric de Prusse	21f ,c
1 Pistole	20 75
1 Ducat	11 50
1 Souverain anglais	25 50
1 Guinée	26 20
1 Florin de Hollande	2 10
2 1/2 florins de Hollande	5 25
1 Couronne de France	5 70
1 Couronne de Brabant	5 63
1 Thaler de Prusse	3 60
1 Guillaume de Hollande	21 ,6

Digitized by Google

Aune	1,00
Pied	0,29

(Pour le reste comme la France.)

BATAVIE, BORNÉO.

(Comme la Hollande.)

BOURBON (île).

(Anciennes mesures de Paris, voir la France; monnaies comme l'Espagne.)

BRÊME.

Longueurs en mètres.

Mille	1852
Aune	0,58
Pied	0,29

Surfaces en mètres carrés.

Pied carré	0,08

Volumes en mètres cubes.

Scheffel	0,071

Poids en kilog.

Quintal	51,49
Livre	0,498

Monnaies en francs.

(Comme la Prusse.)

BRÉSIL.

Longueurs en mètres.

Legoa	6600
Estadios	258,2
Vara	1,1
Covado	0,68

Surfaces en mètres carrés.

Geira	5856,4
Braca	4,84

Volumes en mètres cubes.

Pepa	0,414
Alqueire	0,021

Poids en kilog.

Quintal (poids, 128 livres)	588
Livre	0,46

Monnaies en francs.

(Comme en Espagne.)

BRUNSWICK.

(Comme la Prusse.)

CANADA.

(Comme l'Angleterre.)

CEYLAN.

(Comme l'Angleterre.)

CHILI.

(Le système décimal français est décrété; les anciennes mesures encore en usage et les monnaies sont celles de l'Espagne.)

CHINE ET COCHINCHINE.

Longueurs en mètres.

Li	575,3
Foeng	3,65
Covid du commerce	0,34
Pied de construction	0,32

Surfaces en mètres carrés.

King ou Fu	2533

Volumes en mètres cubes.

Sei	0,122

Poids en kilog.

Livre	0,605

Monnaies en francs.

Taile	7,5

COLOMBIE.

(Actuellement les républiques de Vénézuélas, de la Nouvelle-Grenade et de l'Équateur : le système décimal est décrété, mais l'usage a encore conservé les mesures espagnoles.)

CONFÉDÉRATION ARGENTINE OU LA PLATA.

(Le système décimal est décrété, mais il n'est pas encore en usage.)

Longueurs en mètres.

Lieue	5196
Vare	0,866
Pied	0,29

Surfaces en mètres carrés.

Suertes de estancia	20250

Volumes en mètres cubes.

Cuartille	0,0343
Frasco	0,0924

Poids en kilog.

Tonelade	919
Quintal	46,04
Livre	9,46

Monnaies en francs.

Piastre	4,09

CONFÉDÉRATION GERMANIQUE.

Mille allemand	7407

(Le quintal de douane de 50 kilogrammes est adopté pour les relations internationales; les autres poids et mesures sont ceux des divers États.)

COSTA-RICA.

(Comme l'Espagne.)

Digitized by Google

DANEMARK.

Longueurs en mètres.

Mille (2,400 perches)	7,532
Perche (10 pieds)	3,14
Aune	0,76
Pied de Copenhague	0,31

Surfaces en mètres carrés.

Tonne géométrique	5616

Volumes en mètres cubes.

Faon	2,22
Tonder	0,139

Poids en kilog.

Quintal	50
Livre	0,47

Monnaies en francs.

Chrétien d'or	30
Ducat	9,35
Rixdale	5,66
Marc (16 schellings)	0,75

DEUX-SICILES.

(Voir Naples.)

ÉGYPTE.

Longueurs de l'antiquité en mètres.

Mille grec	1510
Mille romain	1482
Mille asiatique	1667
Stade asiatique	222
Stade olympique	185
Coudée du Sanctuaire	0,56
Coudée grecque	0,46
Coudée romaine	0,44
Décapode	2,77
Pas simple	0,69
Pied olympique	0,32
Pied romain	0,30
Pied d'Archimède	0,22

Longueurs modernes en mètres.

Kassabe	3,85
Pik hendasch	0,64
Pik mekias	0,54

Surfaces en mètres carrés.

Stade carrée antique	3430
Cent coudées carrées id	2756
Fédan moderne	5929
Fédan des contributions	4459

Volumes en mètres cubes.

Amphore antique	0,026
Ardeb d'Alexandrie moderne	0,271
Ardeb du Caire	0,179

Poids en kilog.

Once antique	0,27
Kantar	44,47
Oka	1,00
Rotolo	0,4

Monnaies en francs.

Aureas antique	20,14
Denier id	0,82
Sesterce id	0,20

(Les monnaies modernes sont celles de la Turquie.)

ELBE (ILE TOSCANE).

(Comme la Toscane.)

ÉQUATEUR (ECUADOR).

(Comme la Colombie.)

ESPAGNE.

(Le système décimal français est décrété depuis 1849.)

Longueurs en mètres.

Lieue royale	7066
Lieue moderne (8000 vares)	6780
Lieue commune (19000 pieds)	5607
Lieue (5000 vares)	4239
Mille marin	6365
Mille (1000 pas)	1413
Estadel (11 pieds)	3,11
Brasse (toise, 6 pieds)	1,67
Cana	1,55
Pas (5 pieds)	1,41
Vare (3 pieds)	0,848
Pied (12 pouces)	0,283
Pouce (12 lignes)	0,024
Ligne	0,002

Surfaces en mètres carrés.

Fanégada	6426
Aranzada	4462

Volumes en mètres cubes.

Fanègue	0,055
Arrobe	0,016
Menor	0,013

Poids en kilog.

Quintal (100 livres)	46,086
Livre (2 marcs)	0,4608
Marc (8 onces)	0,230
Once (578 grains)	0,028

Monnaies en francs.

Quadruple (4 pistoles)	83,90
Pistole	20,96
Demi-pistole	10,49
Doublon de 8 couronnes	80,80
Doublon de 4 couronnes	40,40
Doublon de 2 couronnes	20,20
Doublon d'Isabelle	25,84
Piastre	5,45
Duro	5,00

Digitized by Google

Peseta (4 réaux)	1,05
Réal	0,25

ÉTATS-ROMAINS.

Longueurs en mètres.

Mille	1489
Canne (8 palmes)	1,992
Brasse	0,840
Pied romain	0,297
Pied ancien	0,294
Palme (3/4 pied romain)	0,223

Surfaces en mètres carrés.

Rubbio	18446
Pezza	2640

Volumes en mètres cubes.

Rubbio de 4 quartes	0,294
Soma	0,164

Poids en kilog.

Cantaro	33,910
Livre	0,339

Monnaies en francs.

Pistole	17,35
Demi-pistole	8,67
Sequin	11,70
Demi-sequin	5,85
Scudo	5,36
Couronne (10 pauls)	5,32
Teston de 3 pauls	1,60
Teston de 2 pauls	1,05
Paul	0,52

ÉTATS-UNIS.

(Poids et mesures comme en Angleterre.)

Monnaies en francs.

Aigle de 10 dollars	53,80
Demi-aigle	25,90
Dollar en argent (100 cents)	5,34
Dollar en or	5,18
Demi-dollar	2,67
Quart de dollar	1,25
Dix cents	0,53

(Le franc français est accepté pour 0,95c.)

FRANCE.

Distances en mètres.

Mille géographique de 60 au degré	1852
Lieue de 25 au degré	4444
Lieue métrique	5000
Lieue marine de 20 au degré	5555,56
Nœud marin	1851
Encablure de 120 brasses	200
Nœud de loch	15,43
Grande brasse	1,949
Petite brasse	1,624

(Système décimal français.)

Longueurs en mètres.

Dix-millimètre	1/10000
Millimètre	1/1000
Centimètre	1/100
Décimètre	1/10
Mètre 1/10.000.000 de 1/4 du méridien.	
Décamètre	10
Hectomètre	100
Kilomètre	1000
Myriamètre	10000

Surfaces.

Centiare	= 1 mètre carré.
Are	= 100 centiares.
Hectare	= 100 ares.
Kilomètre carré	= 100 hectares.
Myriamètre carré	= 10,000 hectares.

Volumes.

Dix-millilitre	= 1/10,000 litre.
Millilitre	= 1/1000 id.
Centilitre	= 1/100 id.
Décilitre	= 1/10 id.
Litre	= 1 décim. cube.
Décalitre	= 10 litres.
Hectolitre	= 100 id.
Kilolitre	= 1,000 id.
Myrialitre	= 10,000 id.
Décistère	= 1/10 mètre cube.
Stère	= 1 mètre cube.
Décastère	= 10 mètres cubes.

Poids.

Dix-milligramme	= 1/10,000 gramme
Milligramme	= 1/1,000 id.
Centigramme	= 1/100 id.
Décigramme	= 1/10 id.
Gramme	= 1 centim. cube d'eau.
Décagramme	= 10 id.
Hectogramme	= 100 id.
Kilogramme	= 1000 id.
Myriagramme	= 10000 id.
Quintal	= 100 kilogram.
Tonne ou tonneau de mer = 1000 kilogrammes ou 1 mètre cube d'eau.	

(Le poids des perles fines est le karat qui se divise en 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32, 1/64. Le karat varie peu dans tous les pays. — En France les diamants sont pesés à l'once de 29 grammes = 144 karats; le karat = 4 grains.)

Monnaies.

(La nouvelle monnaie de France contient 9/10 d'or ou d'argent et 1/10 d'alliage, avec une tolérance de 2/1000.)

(Le kilogramme renferme : 31 pièces d'or de 100 fr.; 62 pièces d'or de 50 fr.; 155 pièces d'or de 20 fr.; 40 pièces d'argent de 5 fr.)

Digitized by Google

ANCIENNES MESURES DE FRANCE.

Longueurs en mètres.

Lieue de poste	3898
Toise (6 pieds)	1,949
Aune de Paris	1,118
Pied de roi	0,334
Pied (12 pouces)	0,325
Pouce (12 lignes)	0,027
Ligne	0,002

Surfaces en mètres carrés.

Arpent de Paris (100 perches)	3420
Perche (18 pieds carrés)	34

Volumes en mètres cubes.

Corde	3,539
Sétier	0,156
Boisseau	0,013
Cercle	0,004
Pinte	0,0009

Poids en kilog.

Livre (16 onces)	0,4895
Once (8 gros)	0,0306
Gros (12 grains)	0,0038
Grain	0,00003

Monnaies en francs.

Livre	0,987

FRANCFORT.

Longueurs en mètres.

Perche forestière	4,51
Perche des champs	3,56
Aune	0,547
Pied	0,285

Surfaces en mètres carrés.

Arpent des forêts	3233
Arpent des champs	2025

Volumes en mètres cubes.

Malter	0,1147
Maas	0,0016

Poids en kilog.

Livre légale	0,50
Livre ordinaire	0,467

Monnaies en francs.

(Comme en Bavière.)

GRÈCE.

(Le système décimal français est décrété dans ce royaume, mais on se sert encore des mesures suivantes.)

Longueurs en mètres.

Grand pik	0,68

Volumes en mètres cubes.

Quillot	0,033

Poids en kilog.

Millar	0,47

Monnaies en francs.

Drachme	0,89

HAÏTI.

(Le système français décimal est décrété.)

Longueurs en mètres.

Pas	1,14
Aune	0,18

Surfaces en mètres carrés.

Carreau	12900

Volumes en mètres cubes.

Boisseau	13

Poids en kilog.

Livre	0,49

Monnaies en francs.

Dollar	5,00

HAMBOURG.

Longueurs en mètres.

Mille	7500
Aune	0,57
Pied	0,29

Surfaces en mètres carrés.

Arpent	9660

Volumes en mètres cubes.

Scheffel	1,038
Tonneau	0,165
Fass	0,055

Poids en kilog.

Quintal	53,23
Livre	0,484

Monnaies en francs.

Ducat de Hambourg	11,76
Marco-Banquo	1,89
Marco-courant	1,53

HANOVRE.

Longueurs en mètres.

Mille (24,000 pieds du Rhin)	7532
Aune	0,584
Pied (12 pouces 144 lignes)	0,292

Surfaces en mètres carrés.

Arpent	2221

Volumes en mètres cubes.

Scheffel	1,038
Himten	0,051

Digitized by Google

Poids et Monnaies.

(Comme en Prusse.)

HESSE-CASSEL OU HESSE ÉLECTORALE.

Longueurs en mètres.

Perche	3,98
Pied	0,287
Aune	0,57

Surfaces en mètres carrés.

Arpent	2586

Volumes en mètres cubes.

Scheffel	0,08
Maas	0,0019

Poids et Monnaies.

(Comme en Prusse.)

HESSE-DARMSTADT.

Longueurs en mètres.

Toise	2,80
Aune	0,60
Pied	0,28
Pouce	0,025

Surfaces en mètres carrés.

Arpent	2500

Volumes en mètres cubes.

Klafter	1,56

Poids et Monnaies.

(Comme Bade.)

HOLLANDE (PAYS-BAS).

Longueurs en mètres.

Lieue ancienne	5848
Lieue moderne	5556
Lieue commune	5031
Mille (20392 pieds du Rhin)	5857
Mille marin de 20 au degré	5556
Aune d'Amsterdam	0,69
Pied du Rhin	0,314
Pied d'Amsterdam	0,283
Myl moderne ou décimal	1000
Roede décimale	10
Aune décimale	1

Surfaces en mètres carrés.

Roede carrée	100
Elle carrée	1

Volumes en mètres cubes.

Last	3,00
Kubik Elle	1
Zak	0,1
Schepel	0,01
Kap	0,001
Maatje	0,0001

Poids en kilog.

Pond	1,00
Once	0,1
Load	0,01
Wigtje	0,001

Monnaies en francs.

Ducat	11,78
Florin de 100 cents	2,14

HOLSTEIN.

(Comme Hambourg.)

HONDURAS.

(Comme l'Espagne.)

ILES IONIENNES.

(Comme l'Angleterre.)

INDES-ORIENTALES.

Longueurs en mètres.

Cas hindou	512
Gos	0,68
Haith	0,45

Surfaces en mètres carrés.

Kahni	5551
Biggoh	1300

Volumes en mètres cubes.

Olluck	0,9015

Poids en kilog.

Mureh	392,0
Maund	11,3
Seer	0,93

Monnaies en francs.

Mohur de Bengale	41,85
Mohur de Bombay	37,60
Roupie d'or de Madras	36,40
Pagode	9,35
Roupie de Bombay	2,25

JAPON.

Longueurs en mètres.

Kupira	0,38
Canc sasi	0,50

Volumes en mètres cubes.

Kok	0,174

Poids en kilog.

Monme	0,02

Monnaies en francs.

Ita	23
Coban	27

Digitized by Google

JAVA.

Longueurs en mètres.

Hasta	0,46

LOMBARDIE.

(Le système décimal français est décrété dans ce royaume, mais on y fait encore usage des mesures suivantes.)

Longueurs en mètres.

Braccio	0,66
Pied	0,43

Surfaces en mètres carrés.

Pertia	660

LUBECK.

(Comme Brême.)

LUXEMBOURG.

(Comme la Hollande.)

MAROC.

Longueurs en mètres.

Dhra	0,57

Volumes en mètres cubes.

Kule	0,015

Poids en kilog.

Kintar	52,5
Artal	0,51

Monnaies en francs.

Piastre	500

MECKLEMBOURG.

(Comme la Prusse.)

MEXIQUE.

(Comme l'Espagne ; le système décimal est décrété.)

MODÈNE.

(Comme Parme.)

NAPLES (DEUX-SICILES).

Longueurs en mètres.

Mille napolitain	1860
Palme	0,265
Canne	0,209

Surfaces en mètres carrés.

Tumolo	1090
Canne carrée	7

Volumes en mètres cubes.

Cafisso	0,012

Poids en kilog.

Rotolo	0,79
Livre	0,30

Monnaies en francs.

Ecu	5,10
Ducat	4,24

NASSAU.

(Comme Hesse-Darmstadt, comme Bade.)

NOUVELLE-GRENADE.

(Voir Colombie.)

NUBIE.

(Comme l'Égypte.)

OLDENBOURG.

(Comme Brême.)

PARME (DUCHÉ).

Longueurs en mètres.

Brasse	0,64

Surfaces en mètres carrés.

Biolea	3080

Volumes en mètres cubes.

Stajo	0,048

Poids en kilog.

Livre	0,33

Monnaies en francs.

Lire	1

PÉROU.

(Comme l'Espagne.)

PERSE.

Longueurs en mètres.

Mille	4946
Farsang	5,50
Goss schah	1,01

Volumes en mètres cubes.

Artaba	0,065

Poids en kilog.

Miskal	0,005

Monnaies en francs.

Toman	11,60

PIÉMONT.

(Voir Sardaigne.)

PLAISANCE.

(Comme Parme.)

Digitized by Google

POLOGNE.

(Comme la Russie.)

PONDICHÉRY.

Longueurs en mètres.

Corosanne	4,60
Côle	3,60
Empan	0,26

Surfaces en mètres carrés.

Cangi	13

Monnaies en francs.

Roupie	2,40

PORTUGAL.

Longueurs en mètres.

Lieue de 18 au degré	6173
Lieue marine de 20 au degré	5556
Lieue marine de 50 au degré	1852
Estadio	258,28
Brasse (10 palmes)	2,19
Vare (5 palmes)	1,10
Pied	0,33
Palme (8 pouces)	0,22

Surfaces en mètres carrés.

Geira	5864

Volumes en mètres cubes.

Mois	830
Almude	0,017

Poids en kilog.

Quintal	58,75
Arrobe	14,69
Livre	0,46

Monnaies en francs.

Moïdore ancien	34,0
Coroa	5,60
Cruzade ancienne	3,22
Nouvelle cruzade (480 reis)	2,94
Reis	0,0056

PRUSSE.

Longueurs en mètres.

Mille du Rhin	7783
Mille de Prusse	7532
Lieue	7407
Lachter	2,09
Aune	0,67
Pied du Rhin	0,37
Pied de Berlin	0,39

Surfaces en mètres carrés.

Arpent	2553

Volumes en mètres cubes.

Klafter	3,34
Tonne	0,129
Scheffel	0,055

Poids en kilog.

Quintal	50
Livre	0,5

Monnaies en francs.

Frédéric d'or	12,60
Ducat	11,65
Thaler	3,75
Cinq gros	0,58
Gros	0,125

RUSSIE.

Longueurs en mètres.

Mille de Lithuanie (28530 pieds du Rhin)	9954
Werste (500 sagènes, 1500 archines)	1067
Sagène (3 archines)	2,134
Pied (12 werchock, 24 palez, 288 lignes)	0,305

Surfaces en mètres carrés.

Déciatine	10900

Volumes en mètres cubes.

Botchka	0,492
Tchetwert	0,209

Poids en kilog.

Pud	16
Livre	0,41

Monnaies en francs.

Ducat	11,78
Impériale de 10 roubles	32,38
Impériale de l'an 1763	30,02
Rouble (100 copecks)	4,61
Rouble d'argent	4,00
Copeck	0,046

SARDAIGNE.

(Le système français décimal est décrété; on se sert cependant encore des mesures suivantes dans l'île de Sardaigne.)

Longueurs en mètres.

Mille (1300 toises)	2534
Trabucco	3,08
Raso	0,60
Pied de Liprando	0,52
Pied ordinaire	0,31
Palmo	0,25

Surfaces en mètres carrés.

Restiera	13754

Volumes en mètres cubes.

Starello	0,049
Baril	,034

Digitized by Google

Poids en kilog.

Quintal	40,57
Livre	0,41

Monnaies en francs.

Cénovine (100 livres)	48,40
Pistole	30,02
Pistole de 20 livres	20,00
Ecu de 6 livres	7,68
Ecu neuf de 5 livres	5,00

SAXE.

Longueurs en mètres.

Mille de police (32000 pieds)	9064
Mille de Saxe-Weimar	6798
Lachter	2
Pied (12 pouces, 144 lignes, 1728 points)	0,2832
Pied de Saxe-Weimar	0,2819

Surfaces en mètres carrés.

Arpent	5540

Monnaies en francs.

Rixdale	5,19

(Le reste des poids, mesures et monnaies comme en Prusse.)

SIAM.

Longueurs en mètres.

Kati	1212
Jula	1,98

Monnaies en francs.

Piastre	6,25
Tical	4,65

SUÈDE ET NORWÉGE.

Longueurs en mètres.

Mille de Norwége (35491 pieds du Rhin)	11130
Mille de Suède (2250 perches de 16 pieds)	10688
Perche	4,78
Toise (fam)	1,78
Aune de Suède (2 pieds)	0,5937
Pied de Suède (12 pouces, 144 lignes)	0,297

Surfaces en mètres carrés.

Journée	4956

Volumes en mètres cubes.

Toder	0,157
Tonne	0,155
Kanna	0,0026

Poids en kilog.

Lispund	8,50
Livre	0,43

Monnaies en francs.

Rixdale	5,75
Species	1,40

SUISSE.

Longueurs en mètres.

Mille	8763
Lieue	4800
Aune de Zurich	0,600
Aune de Genève	1,145
Aune de Neuchâtel	1,110
Aune de Berne	0,540
Pied de Genève	0,488
Pied de Lucerne	0,314
Pied de Bâle et de Zurich	0,304
Pied de Lauzanne (10 pouces, 100 lignes)	0,30
Pied de Berne et de Neuchâtel (12 pouces)	0,225
Nouvelle aune suisse	0,6
Nouveau pied suisse	0,3

Surfaces en mètres carrés.

Juchart	3600

Volumes en mètres cubes.

Malter	0,15
Maas	0,0015

Poids en kilog.

Livre	0,5

Monnaies en francs.

Ecu de Suisse	5,90
Couronne	4,17
Florin	2,17
Franc de Berne	1,17
Franc suisse	1,00
Batz	0,10
Rappe	0,01

TOSCANE.

Longueurs en mètres.

Mille	1653
Brasse de Florence	0,594
Pied géographique	0,585
Pied de construction	0,548

Surfaces en mètres carrés.

Quadrato	3406

Volumes en mètres cubes.

Baril	0,016

Poids en kilog.

Quintal	54
Livre	0,54

Monnaies en francs.

Paoli	1,68
Lira	0,84

Digitized by Google

TRIPOLI ET TUNIS.

(Comme la Turquie.)

TURQUIE.

Longueurs en mètres.

Ayatsch	3334
Mille	1670
Mille marin	1479
Archin	0,669
Petite mesure (draa)	0,649
Pick (draa)	0,682

Volumes en mètres cubes.

Quilot	0,035
Alma	0,0082

Poids en kilog.

Occa	1,28
Chéqui	0,32

Monnaies en francs.

Sequin zermahoub	8,72
Nisfie (demi-sequin)	4,36
Roupie	2,43
Altmichlee (60 paras)	3,53
Yarembe (20 paras)	0 99
Roub (10 paras)	0,50
Paras (3 aspres)	0,04
Aspre	0,01
Piastre	2,00
Pièce de 5 piastres	5,13
Nouvelle piastre	0,27

VÉNÉZUÉLA.

(Voir la Colombie.)

VILLES ANSÉATIQUES.

(Voir Francfort, Hambourg, Lubeck Brême.)

WURTEMBERG.

(Comme la Bavière.)

PROPOSITION IV. — Dans le relevé ci-dessous se trouvent résumés, sous forme d'équations, les divers cas qui peuvent se présenter dans le calcul des intérêts.

(Les notations sont les suivantes : a le capital; n le nombre d'années; f l'intérêt d'un franc à la fin de l'année; i l'intérêt du capital (a) après (n) années.)

1° Intérêt (i) du capital (a) à la fin de l'année. $i = a\,(f-1)$

2° Intérêt du capital à la fin de n, années (les intérêts ne s'ajoutant pas au capital sont appelés : intérêts simples)..... $i = an\,(f-1)$

3° Le capital avec les intérêts simples..... $s = a + an\,(f-1)$

4° Le capital avec les intérêts composés (ou intérêts qui s'ajoutent pour porter intérêt à leur tour)..... $s = a\,f^n$

5° L'annuité est une opération qui consiste à s'acquitter d'une somme (s) empruntée, en la rendant par portions annuellement. Cette portion est plus grande que l'intérêt de la somme, de façon qu'après un certain nombre d'années on se sera acquitté; cette portion..... $p = \dfrac{s\,f^n\,(f-1)}{(f^n-1)}$

Application. — Les formules précédentes donnent par

Digitized by Google

leur transformation le capital en fonction de l'intérêt et *vice versâ* ; par exemple, la formule (4) $s = af^n$ est transformée en $a = s/f^n$.

Quel est le capital à placer à la première année à cinq pour cent, pour avoir 500 francs à la fin de la quatrième année?

$$a = \frac{500}{(1{,}05)^4} = 411{,}50$$

On voit, d'après ce qui précède, que par ces transformations on obtient une série d'équations avec lesquelles on peut facilement calculer des tables pour un cas donné.

---

§ 2. — Données géométriques.

Proposition 1. — *Lignes.*

1° La circonférence d'un cercle est égale au diamètre multiplié par le rapport π de la circonférence au diamètre $= 2\,\pi\,r$. (r est le rayon.)

Voici les multiplicateurs les plus usités de π :

π	=	3,141592
$1/\pi$	=	0,318309
$2/\pi$	=	0,636619
$4/\pi$	=	1,273239
2π	=	6,283185
4π	=	12,566370
$\pi/2$	=	1,570796
$\pi/4$	=	0,785398
π^2	=	9,869604
$\sqrt{\pi}$	=	1,772453
$1/\pi^2$	=	0,101321
$1/\sqrt{\pi}$	=	0,564189
Logarithme de π	=	0,497149
Logarithme hyperbolique de π	=	1,144729

Digitized by Google

2° Le contour ou la circonférence d'une ellipse, est égal à la moitié de la somme des deux axes A et a multiplié par π.

PROPOSITION II. — *Surfaces.*

1° La surface d'un triangle est égale à sa base multipliée par la moitié de sa hauteur.

(Le triangle équilatéral a ses trois côtés égaux ; le triangle isocèle a seulement deux côtés égaux ; le triangle scalène a ses trois côtés inégaux.)

2° La surface d'un trapèze est égale à la somme des bases multipliée par la moitié de la hauteur.

(Dans le trapèze, deux côtés seulement sont parallèles ; le rectangle a les angles droits sans avoir les côtés égaux ; le parallélogramme ou rhombe a les côtés opposés parallèles ; dans le losange les côtés opposés sont parallèles sans que les angles soient droits.)

3° La surface d'un cercle est égale à π multiplié par le carré du rayon.

4° La surface d'un polygone régulier est égale à la somme des côtés multipliée par la moitié de la perpendiculaire abaissée sur un des côtés.

5° La surface d'un secteur est égale à l'arc multiplié par le demi-rayon.

6° La surface d'un segment est égale au secteur moins le triangle qui va au centre.

7° La surface d'une pyramide est égale à la surface de la base, plus le contour de cette base multipliée par la moitié de la hauteur d'un des triangles.

8° La surface d'un cône est (comme précédemment) égale à la surface de la base, plus la circonférence multipliée par la moitié de la génératrice.

9° La surface d'un tronc de cône est égale à la demi-somme des circonférences supérieure et inférieure multipliée par la génératrice, plus les surfaces des deux bases.

10° La surface d'une ellipse $= 0{,}7854\ aa'$.

(a et a' sont les deux axes)

11° La surface d'une sphère est égale au produit de son

Digitized by Google

diamètre par la circonférence de son grand cercle ; cette surface est égale au quadruple de celle d'un grand cercle.

$$\pi d^2 = 4 \pi r^2$$

12° La surface de la zone (partie comprise entre deux plans parallèles dont l'un peut être tangent à la sphère) est égale à sa hauteur multipliée par la circonférence d'un grand cercle.

13° La surface d'un triangle sphérique a pour mesure l'excès de la somme de ses trois angles sur deux angles droits.

PROPOSITION III. — *Volumes.*

1° Le volume d'un parallélipipède ou d'un cylindre est égal à la surface de sa base multipliée par sa hauteur.

2° Le volume d'un cube est égal à la troisième puissance d'un des côtés.

3° Le volume d'une pyramide ou d'un cône est égal au produit de sa base par le tiers de sa hauteur.

4° Le volume d'un tronc de pyramide ou d'un tronc de cône est égal au produit du tiers de sa hauteur (h) par sa base inférieure (b), sa base supérieure (b') et la moyenne entre les deux bases :

$$V = 1/3\ h\ (b + b' + \sqrt{bb'})$$

Si c'est un tronc de cône les rayons donnent les surfaces des bases :

$$b = \pi r^2 ;\ b' = \pi r'^2 ;\ V = 1/3\ \pi\ h\ (r^2 + r'^2 + rr')$$

5° Le volume d'une sphère est égal au produit de sa surface par le tiers du rayon $= 4/3 \times \pi r^3$.

6° Le volume d'une calotte ou zone sphérique est égal à la circonférence du cercle de la sphère multipliée par la hauteur de la zone.

7° Le volume d'un secteur sphérique est égal au produit de la zone qui sert de base, par le tiers du rayon de la sphère $= 2/3 \times \pi r^2 h$.

8° Le volume d'un segment sphérique compris entre deux

Digitized by Google

plans parallèles est égal à la demi-somme des bases, multipliée par la hauteur, plus le volume de la sphère décrite sur cette hauteur.

9° Le volume d'un onglet sphérique est égal à la surface du fuseau (partie comprise entre deux demi-grands cercles qui ont un même diamètre) multiplié par le tiers du rayon.

10° On détermine le volume d'un vase en le pesant plein d'eau et puis vide, la différence de poids indique le volume en litres, ou décimètres cubes.

§ 3. — Données trigonométriques.

Proposition I. — Les lignes trigonométriques sont évaluées dans les deux tableaux suivants : dans le premier, d'une façon générale d'après les limites des arcs, et dans le second tableau en fonctions l'une de l'autre.

Premier relevé des valeurs des lignes trigonométriques correspondant aux degrés des arcs d'un cercle dont le rayon est égal à l'unité.

DÉSIGNATION des LIGNES TRIGONOMÉTRIQUES.	INDICATION DES DEGRÉS.				
	MOINS a.	ZÉRO.	90	180	360
I Sinus.....	— sin. a	0	1	0	0
II Cosinus.....	cos. a	1	0	— 1	1
III Tangente.....	— tgt. a	0	infinie	0	0
IV Cotangente.....	— cotgt a.	infinie	0	infinie	infinie
V Sécante.....	sect. a.	1	infinie	— 1	1
VI Cosécante.....	— cosect. a.	infinie	1	infinie	infinie

Digitized by Google

Deuxième relevé des valeurs des lignes trigonométriques en fonctions l'une de l'autre.

DÉSIGNATION DES LIGNES TRIGONOMÉTRIQUES.	VALEURS DE CES LIGNES.
Sinus a	$= \sqrt{1 - \cos^2 a}$
	$= {}^1/_2$ corde $(2a)$.
	$= \dfrac{\text{tangt. } a}{\sqrt{1 + \text{tangt.}^2 a}}$
	$= 2 \text{ sin. } {}^1/_2 a. \text{ cos. } {}^1/_2 a.$
	$= \dfrac{1}{\text{cosect. } a.}$
Sinus verse a	$= 1 - \text{cos. } a.$
	$= 2 \text{ sin.}^2 1/2\, a.$
Cosinus a	$= \sqrt{1 - \text{sin.}^2 a.}$
	$= 1 - 2 \text{ sin.}^2 {}^1/_2 a.$
	$= 2 \text{ cos.}^2 {}^1/_2 a - 1.$
	$= \dfrac{1}{\text{sect. } a.}$
Tangente a	$= \dfrac{\text{sin. } a.}{\text{cos. } a.}$
	$= \dfrac{1}{\text{cotangt. } a.}$
	$= \dfrac{\text{sin. } a}{\sqrt{1 - \text{sin.}^2 a.}}$
Sécante a	$= \dfrac{1}{\text{cos. } a.}$
	$= \sqrt{1 + \text{tangt.}^2 a.}$
Sinus $(a \pm b)$	$= \text{sin. } a. \text{ cos. } b \pm \text{sin. } b. \text{ cos. } a$
Cosinus $(a \pm b)$	$= \text{cos. } a. \text{ cos. } b \mp \text{sin. } a. \text{ sin. } b.$
Tangente $(a \pm b)$	$= \dfrac{\text{tangt. } a \pm \text{tangt. } b}{1 \mp \text{tangt. } a. \text{ tangt. } b.}$
Sinus $2a$	$= 2 \text{ sin. } a. \text{ cos. } b.$
Cosinus $2a$	$= \text{cos.}^2 a - \text{sin.}^2 a.$
	$= 2 \text{ cos.}^2 a - 1.$
	$= 1 - 2 \text{ sin.}^2 a.$

Digitized by Google

Suite.

DÉSIGNATION DES LIGNES TRIGONOMÉTRIQUES.	VALEURS DE CES LIGNES.
Tangente 2 a.....	$= \frac{2 \text{ tangt } a}{1 - \text{tangt.}^2 a}$
Sinus $^1/_2$ a.....	$= \sqrt{\frac{1 - \cos. a}{2}}$.
Cosinus $^1/_2$ a	$= \sqrt{\frac{1 + \cos. a}{2}}$
Tangente $^1/_2$ a.....	$= \frac{\sin. a}{1 + \cos. a}$ $= \frac{1 - \cos. a}{\sin. a}$ $= \sqrt{\frac{1 - \cos. a}{1 + \cos. a}}$
Sinus a + sinus b.....	$= 2 \sin.{}^1/_2 (a + b) \cos.{}^1/_2 (a - b)$.
Cosinus a + cosinus b....	$= 2 \cos.{}^1/_2 (a + b) \cos.{}^1/_2 (a - b)$.
Tangente a + tangente b..	$= \frac{\sin. (a + b)}{\cos. a. \cos. b.}$
Rayon = 1.....	$= \sin.^2 a + \cos.^2 a.$ $= \sin.$ verse $a + \cos. a.$ $= \text{tangt. } a. \text{ cotangt. } a.$ $= \cos.^2 a + 2 \sin.^2 a.$ $= \sec.^2 a - \text{tangt.}^2 a.$

PROPOSITION II. — Les principes de la résolution des triangles rectilignes sont au nombre de 5, savoir :

1° Dans un triangle rectangle un côté quelconque de l'angle droit est le produit de l'hypothénuse par le cosinus de l'angle aigu compris.

2° Dans un triangle rectangle, un des côtés de l'angle droit est le produit de l'autre côté par la tangente de l'angle opposé au premier.

Digitized by Google

3° Les sinus des angles sont comme les côtés opposés à ces angles.

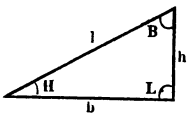
4° Le carré d'un côté d'un triangle est égal à la somme des carrés des deux autres côtés, moins deux fois le produit de ces mêmes côtés par le cosinus de l'angle qu'ils comprennent.

5° La somme de deux côtés quelconques est à leur différence, comme la tangente de la demi-somme des angles opposés à ces côtés est à la tangente de la demi-différence de ces mêmes angles.

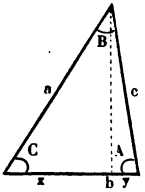
PROPOSITION III. — En traduisant les préceptes ci-dessus en signes algébriques nous formons le tableau suivant dont les expressions trigonométriques se rapportent à un cercle d'un rayon égal à l'unité :

Digitized by Google

Relevé des valeurs trigonométriques (côtés et angles) d'un triangle.

SIGNES DES CÔTÉS ET DES ANGLES.	VALEUR TRIGONOMÉTRIQUE.
(Triangle rectangle.) 	
l.....	$= \sqrt{h^2 + b^2}$.
	= *h* séc. *B*.
	= *b* séc. *H*.
b.....	= *l* cos. *H*.
	= *h* cotangt. *H*.
	$= \sqrt{l^2 - h^2}$.
	= *h* tangt. *B*.
h.....	= *b* tangt. *H*.
	= *l* sin. *H*.
	= *l* cos. *B*.
	$= \sqrt{(l + b)(l - b)}$.
l — *b*.....	= *h* tangt. $^1/_2$ *H*.
l — *h*.....	= *b* tangt. $^1/_2$ *B*.
L.....	= *B* + *H* = (90 degrés).
Cosinus *B*.....	= sin. *H*.
	$= \frac{h}{l}$
Cosinus *H*.....	= sin. B.
	$= \frac{b}{l}$
Tangente *B*.....	= cotangt. *H*.
	$= \frac{b}{h}$

Digitized by Google

SIGNES DES CÔTÉS ET DES ANGLES.	VALEUR TRIGONOMÉTRIQUE.
(Triangle obliquangle.)	
 a....	$= \sqrt{b^2 + c^2 - 2bc \cos. A}$. $= \frac{b \sin. A}{\sin. B.}$ $= \frac{c \sin. A}{\sin. C.}$
b....	$= \sqrt{a^2 + c^2 - 2ac \cos. B}$. $= \frac{a \sin. B}{\sin. A.}$ $= \frac{c \sin. B}{\sin. C.}$
c....	$= \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \cos. C}$. $= \frac{a \sin. C}{\sin. A.}$ $= \frac{b \sin. C}{\sin. B.}$
Tangente A.....	$= \sin.^2 A + \cos.^2 A$. $= \frac{\sin. A.}{\cos. A.}$
Tangente $\frac{1}{2}(C - B)$.....	$= \frac{c - b}{c + b}$ (tangt. $\frac{1}{2}(C + B)$) $= \frac{c - b}{c + b}$ (cotangt. $\frac{1}{2} A$)
Sinus $\frac{1}{2} A$.....	$= \sqrt{\frac{(p - b)(p - c)}{b c}}$
Cosinus $\frac{1}{2} A$.....	$= \sqrt{\frac{p(p - a)}{bc}}$ $a + b + c = 2p$.
Tangente $\frac{1}{2} A$.....	$= \sqrt{\frac{(p - b)(p - c)}{p(p - 2)}}$
Cosinus A.....	$= \frac{y}{c}$
Cosinus C.....	$= \frac{x}{a}$ $B = 180° - (A + C)$.
Sinus $(A \pm B)$	$=$ sin. A cos. $B \pm$ sin. B cos. A.
Cosinus $(A \pm B)$.....	$=$ cos. A cos. $B \mp$ sin. A sin. B.
Tangente $(A \pm B)$.....	$= \frac{\text{tangt. } A \pm \text{tangt. } B.}{1 \pm \text{tangt. } A \text{ tangt. } B.}$

Digitized by Google

CHAPITRE II.

PHYSIQUE.

§ 1. — Principes.

PROPOSITION I. — Les principes généraux qui doivent guider les constructeurs dans les recherches physiques peuvent se résumer ainsi :

1° Les corps sont considérés comme solides, liquides (fluides incoercibles, incompressibles) ou gazeux (fluides élastiques). — On désigne aussi sous le nom de fluides des effets physiques ou chimiques dont on ne connaît pas la nature, tels que le fluide électrique et le fluide magnétique.

2° Ces trois espèces de corps sont divisibles, non pas à l'infini, mais en quantités très-minimes qu'on appelle atomes, molécules, particules; ces corps sont poreux, leurs molécules ne se touchent pas; les intervalles s'appellent des pores.

3° Tous les corps sont élastiques, car la chaleur les dilate. L'élasticité s'exerce de diverses manières : l'eau, par la chaleur, se transforme en vapeur élastique et fait éclater une chaudière; l'eau congelée la rompt également.

4° L'*endosmose* est la faculté que possèdent les gaz de traverser avec une grande facilité certains corps; l'hydrogène possède cette faculté au plus haut point.

5° Ces principes et définitions n'ont rien d'absolu; citons à l'appui de cet énoncé quelques exemples : ainsi on suppose également que l'atome n'est pas divisible et que la molécule est composée d'atomes. — La définition des corps gazeux, solides et liquides n'est pas précise non plus, car ces trois espèces de corps sont indifféremment solides, liquides et gazeux; l'or peut être liquéfié et réduit en vapeur; les liquides

Digitized by Google

se changent en vapeur par la chaleur et se transforment en corps solides par le froid : le gaz acide carbonique devient liquide ou solide par la compression. — Dans l'acception ordinaire, les mots : solide, liquide et gazeux se rapportent à la température moyenne dans laquelle nous vivons.

6° La qualification de fluides incompressibles donnée aux liquides n'est pas rigoureusement exacte; l'eau se comprime. Sa compressibilité est évaluée à 48 litres sur un million de litres, à la pression d'une atmosphère ; elle est de 2×48 litres à 2 atmosphères; de 3×48 à 3 atmosphères, etc., etc., à ce qu'on suppose d'après les indications d'expériences récentes.

Pour bien fixer les idées, je ferai remarquer que la résistance des liquides, à un même degré de chaleur, contre la compression, ne doit pas être confondue avec la compressibilité par l'abaissement de température; car on comprime instantanément le mercure ou l'alcool de la boule d'un thermomètre en la plongeant dans de l'eau froide; mais si ces liquides restaient à la même température, ils ne se comprimeraient pas sensiblement, du moins par des procédés mécaniques.

7° Citons maintenant, comme dernier exemple d'inexactitude, l'hypothèse du plan horizontal des liquides en équilibre; les liquides ont la faculté de s'éloigner ou de se rapprocher des bords et d'y former une courbe concave ou convexe; cette faculté s'appelle la *capillarité*.

Ces prémisses ont pour but de fixer les idées au sujet des définitions admises et de tracer des limites entre les résultats de la théorie et ceux de la pratique.

La partie de la physique dont nous avons à nous occuper relativement aux applications dans l'industrie des constructions, considère les deux forces, pesanteur et chaleur, dans leurs effets sur la nature des corps. Les effets de ces mêmes forces exprimés par le mouvement font l'objet de la mécanique; nous ajouterons ici les données d'expérience sur la production de la vapeur, qui joue aujourd'hui un rôle important dans les voies de communication et dans les manufactures. Enfin nous terminerons ce chapitre par l'examen des qualités physiques des pierres et des bois, comme matériaux de con-

Digitized by Google

struction ; leur composition chimique sera citée dans la partie consacrée à la chimie.

§ 2. — Pesanteur spécifique des corps, ou pesanteur d'une unité de volume (1 mètre cube).

PROPOSITION I. — Dans l'évaluation de la pesanteur spécifique des corps gazeux, liquides et solides, l'unité de volume est le mètre cube ; l'unité de poids est le kilogramme qui est le poids d'un décimètre cube d'eau distillée ; donc un mètre cube d'eau pèse 1000 kilogrammes ou une tonne. — Les chiffres suivants sont admis pour les températures ordinaires de l'atmosphère.

1° *Gaz* (1 mètre cube).

	Kilog.
Acide carbonique	1,980
Acide chlorhydrique	1,621
Acide sulfureux	2,840
Air atmosphérique	1,299
Ammoniaque	0,775
Azote	1,237
Chlore	3,210
Cyanogène	2,347
Deutoxyde d'azote	1,350
Gaz oléfiant	1,270
Hydrogène	0,089
Hydrogène carboné	0,729
Hydrogène phosphoré	1,130
Oxyde de carbone	1,245
Oxygène	1,432
Protoxyde d'azote	1,980
Vapeur d'alcool absolu	2,096
Vapeur d'eau	0,810
Vapeur d'essence de térébenthine	6,512
Vapeur d'éther sulfurique	3,395

2° *Liquides* (1 mètre cube).

Acide azotique (nitrique)	1510
Acide carbonique liquide	
Acide chlorhydrique	1190
Acide sulfurique concentré	1840
Acide sulfurique étendu	1503
Alcool du commerce	830
Alcool rectifié	750
Ammoniaque dissous	850
Bière	1020
Bitume liquide ou naphte	810
Brôme	9230
Chloroforme	1480
Eau de la mer Morte	1200
Eau de mer	1030
Eau de pluie (eau distillée)	1000
Eau de puits	1010
Eau-de-vie	940
Eau oxygénée	1450
Ether sulfurique	700
Huile de pavot	930
Huile d'olive	910
Lait	1030
Mercure	13600
Sulfure de carbone	1300
Vinaigre	1020
Vin de Bordeaux	990
Vin de Bourgogne	920
Vin de Champagne	960
Vin de Madère	1030

3° *Végétaux* (1 mètre cube).

Bois.

Acacia	790
Acajou	950
Aune	700
Bouleau	700
Buis	930
Cèdre	1000
Cerisier	720
Charbon de bois mesuré à l'hectolitre	330
Charme	760
Châtaignier	690
Chêne sec	850

Digitized by Google

	Kilog.
Chêne vert	1100
Ebénier	1100
Erable	800
Frêne	780
Grenadier	1600
Hêtre	650
Marronnier	600
Mélèze	650
Mûrier	900
Noyer	690
Olivier	920
Oranger	750
Orme	800
Osier	550
Peuplier	500
Pin	810
Platane	360
Poirier	600
Pommier	700
Prunier	500
Sapin blanc	490
Sapin rouge	650
Saule	580
Tilleul	600
Vigne	1300

Diverses substances organiques.

Avoine	470
Beurre	940
Bois fossile	1170
Camphre	990
Caouthouc	900
Cire blanche	970
Colza	650
Corde	900
Farine	1030
Graines	600
Graisse	900
Lignite	1270
Pommes de terre	940
Résine	1100
Seigle	740
Son	220
Sucre	1600
Suif	950
Tan	330
Tourbe humide	790
Tourbe sèche	510

4° *Minéraux* (1 mètre cube).

Albâtre	2300
Alumine	3900
Alun	1700
Amiante	1500
Anthracite	1800
Ardoise	2850
Argile	1700
Argile mêlée de tuf	1980
Arsenic	5700
Asphalte	1310
Basalte	3000
Béton	2470

	Kilog.
Borax	1700
Bore	2500
Brique	1200
Brome	2930
Cailloutis	1380
Calcaire compact	2400
Calcaire tendre	2150
Carbone (diamant)	3500
Chaux éteinte	1350
Chaux vive	850
Ciment	1650
Coke mesuré à l'hectolitre	450
Corail	2700
Craie	1250
Cristal	2400
Glace	930
Granit	2300
Gravier	1450
Grès à bâtir	1900
Grès de paveur	2410
Gypse (pierre à plâtre)	2200
Houille compacte	1300
Houille mesurée à l'hectolitre	800
Iode	4950
Ivoire	1820
Laitier (scories, mâchefer)	1430
Lave	2200
Liais	2100
Maçonnerie d'appareil	2450
Maçonnerie de brique	1880
Maçonnerie de moellons	2240
Marbre	2700
Marne	1600
Mica	2800
Mortier	2000
Nitre	1900
Os	1600
Perles	2600
Phosphore	1800
Pierre à plâtre	2320
Pierre meulière	2480
Pierre ponce	630
Pierre tendre	1100
Plâtre battu	2000
Plâtre gâché humide	1580
Plâtre gâché sec	1450
Plâtre tamisé	1200
Porcelaine	2400
Porphyre rouge	2800
Poudre de guerre	800
Poudre de mine	900
Pouzzolane	1150
Quartz compact	2650
Quartz meulière compacte	2250
Quartz meulière poreuse	1250
Quartz poudding	2500
Roche	1800
Roche très-dure	2600
Rubis (pierres précieuses)	4000
Sable argileux	1750
Sable de rivière	1800
Sable fin humide	1960
Sable fin sec	1490

Digitized by Google

	Kilog.
Schiste	2500
Scorie	1450
Sel	1900
Sélénium	1010
Serpentine	2800
Soufre	2090
Spath fluor	3200
Talc	2600
Tellure	6120
Terre argileuse	1240
Terreau	850
Terre cuite	1200
Terre de bruyère	650
Terre forte	1360
Terre grasse mêlée de pierres.	2250
Terre pierreuse	1900
Terre végétale	1250
Trass d'Andernach	1050
Tripoli	1850
Tuf volcanique	1350
Vase	1640
Verre à bouteilles	2730
Verre à vitres	2640

5° *Métaux* (1 mètre cube).

Acier non trempé	7850
Acier trempé	7810
Aluminium	2560
Antimoine fondu	6710
Argent fondu	10800
Argent forgé	10370
Barium	6000
Bismuth	9800
Bronze	8700
Calcium	1580
Chrome	5900
Cobalt	7800
Cuivre jaune fondu	10600
Cuivre jaune passé à la filière.	8560
Cuivre rouge fondu	7780
Cuivre rouge passé à la filière.	8540
Etain commun fondu	7900
Etain pur fondu	7290
Fer en barres	7780
Fer fondu	7200
Fer forgé	7790
Fonte blanche	7500
Fonte grise	7200
Fonte noire	7260
Glucinium	5000
Iridium	17000
Laiton	10600
Lithium	5900
Magnésium	4000
Manganèse	8000
Mercure	13600
Nickel	8280
Or coulé	19260
Or des monnaies de France	17700
Or forgé	19350
Platine forgé	20340
Platine laminé	22070
Platine passé à la filière	21040
Plomb	11350
Potassium	870
Sodium	970
Strontium	2540
Titane	5300
Zinc	7140

PROPOSITION II. — Dans les évaluations précédentes des termes de comparaison des densités, on a admis comme unité de poids le kilogramme. Dans l'évaluation habituelle de la pesanteur spécifique des gaz ou vapeurs, on prend la densité de l'air atmosphérique pour unité ou pour terme de comparaison égal à 1000.

Les gaz ou vapeurs, à la pression atmosphérique de $0^m,76$ de hauteur de mercure ont la densité suivante :

VOLUMES comparés à l'air.	UNITÉS de poids.
Acide carbonique	1530
Acide formique	1250
Acide hydrochlorique	1250
Acide hydrocyanique	950
Acide hyponitrique	3180
Acide sulfureux	2220
Air atmosphérique	1000
Ammoniaque	600
Azote	970
Chlore	2470
Cyanogène	1810
Deutoxyde d'azote	1040
Ether acétique	3070
Ether hydrochlorique	2210
Ether hyponitreux	2650
Ether sulfurique	2580
Hydrogène	68,8
Hydrogène arseniqué	2690

Digitized by Google

	VOLUMES comparés à l'air.	UNITÉS de poids.
Hydrogène carboné des marais		560
Hydrogène phosphoré		1690
Oxyde de carbone		960
Oxygène		1110
Protoxyde d'azote		1520
Vapeur d'alcool		1610
Vapeur d'eau		620
Vapeur de camphre		5160
Vapeur de mercure		6970
Vapeur de naphtaline		4540
Vapeur de phosphore		4350
Vapeur de soufre		6610
Vapeur d'essence de térébenthine		4760
Vapeur de sulfure de carbone		2640
Vapeur d'iode		8710

PROPOSITION. III. — Dans l'évaluation précédente des densités de l'air et de la vapeur d'eau on a admis les températures et pressions ordinaires. Le calcul des densités à des températures et à des pressions quelconques peut être établi d'après les formules suivantes :

La densité de l'air, ou le poids d'un mètre cube en kilogrammes (a) est :

$$a = \frac{1{,}26\,p}{1 + 0{,}004\,t}$$

la densité de la vapeur d'eau :

$$a' = \frac{0{,}78\,p}{1 + 0{,}004\,t}$$

(p est la pression et t la température.)

Cette formule donne également le volume, étant donné le poids.

PROPOSITION IV. — Ce relevé des pesanteurs spécifiques sert pour calculer le poids de tous les corps, étant donné leur volume. En voici un exemple :

Calculer le poids d'un mètre courant de tuyau en plomb d'un diamètre intérieur de $0^m,05$ et de $0^m,004$ d'épaisseur.

Le volume du cylindre ou tuyau plein est de 1 mètre de hauteur $\times\ \pi\ r^2$

$r = 0{,}05 + 0{,}004 = 0{,}054$; $\pi\ r^2 = 0{,}002916 \times 3{,}14 =$
$= 0{,}00915624$ (volume du cylindre plein).

Le volume vide = 0,00785 mètres cubes.

Reste 0,0013 mètres cubes.

Le poids du mètre cube de plomb est de 11,330 kilogram-

Digitized by Google

mes qui, multiplié avec le volume du tuyau, donne 14 kil. 79, pour poids du mètre courant.

D'après cet exemple élémentaire, il est facile de calculer les tables dont on peut avoir besoin.

---

§ 3. — Mesurage des degrés de chaleur.

Définitions. — Les températures élevées capables de fondre les métaux sont mesurées avec des *pyromètres;* ces instruments sont basés sur la diminution momentanée du volume de l'argile exposée à de fortes chaleurs.

Les températures ordinaires, dont nous avons besoin journellement, sont évaluées d'après les thermomètres à mercure qui prennent peu de place, et d'après ceux à alcool coloré, qui sont très-longs, mais qui donnent des indications plus appréciables.

Relativement à la division de l'échelle, il existe trois espèces de thermomètres :

1° Le thermomètre centigrade ou de Celsius, dont le point 0 est celui de la glace fondante et dont le point 100 est celui de l'eau bouillante;

2° Le thermomètre de Réaumur ou à 80 degrés, dont le point 0 est celui de la glace fondante, et dont le point 80 est celui de l'eau bouillante;

3° Le thermomètre de Fahrenheit ou à 212 degrés, dont le point 0 est celui du mercure congelé et dont le point 180 est celui de l'eau bouillante.

Proposition I. — Il résulte de ces définitions mêmes :

1° Qu'un degré centigrade = 0,80 Réaumur, = 1,80 Fahrenheit;

2° Qu'un degré Réaumur = 1,25 centigrade, = 2,25 Fahrenheit;

3° Qu'un degré Fahrenheit = 0,5555 centigrade, = 0,4444 Réaumur.

Proposition II. — Afin de faciliter l'établissement de tables

Digitized by Google

de conversion thermométriques, j'ai classé les points extrêmes des diverses échelles dans le relevé ci-après.

Pour des opérations sérieuses, il vaut toujours mieux établir les tables soi-même que de suivre des tables imprimées qui enlèvent à l'opérateur la conscience de son travail. Ces sortes de tables ne devraient jamais servir que de moyen de contrôle.

Tableau des divers degrés thermométriques.

CENTIGRADES.	RÉAUMUR.	FAHRENHEIT.
+ 100	+ 80	+ 212
+ 10	+ 8	+ 50
+ 1	+ 0,8	+ 33,8
0	0	+ 32
— 1	— 0,8	+ 32,2
— 10	— 8	+ 14
— 17,77	— 14,22	0
— 100	— 80	— 148

PROPOSITION III. — A titre d'application usuelle du mesurage de la chaleur, j'indiquerai ci-dessous les degrés de dilatation et de fusion des corps, en faisant observer toutefois que la dilatation croît avec la température et que cet accroissement devient sensible vers le moment de la fusion. Il a été fait à ce sujet beaucoup d'expériences, dont les résultats ne sont pas d'accord entre eux. Les gaz ou fluides aériformes seuls font exception ; leur dilatation cubique est sensiblement égale pour chaque degré de thermomètre. — La dilatation cubique est sensiblement égale à trois fois la dilatation linéaire.

Relevé des coefficients de dilatation (en fractions décimales pour un degré centésimal) des divers corps.

Acier non trempé	0,00108
Acier trempé	0,00124
Air, tous les gaz	0,36650
Alcool	0,11550
Argent	0,00199
Cuivre jaune	0,00187
Cuivre rouge	0,00171
Eau	0,01500
Eau de mer	0,05500
Etain	0,00220
Fer étiré ou laminé	0,00123
Fer forgé	0,00122
Fonte	0,00100
Huile fixe	0,01110

Digitized by Google

Huile de térébenthine	0,00800
Mercure	0,01802
Or	0,00151
Platine	0,00080
Plomb	0,00284
Verre	0,00080
Zinc	0,00310

Point de fusion (en degrés centésimaux) des divers corps.

Acier	1400
Alliage d'étain et de bismuth	140
Alliage d'étain et de plomb	194
Antimoine	470
Argent	1030
Bismuth	250
Bronze	900
Cuivre	1090
Etain	230
Fer doux	2000
Fer forgé	2100
Fonte blanche	1100
Fonte grise	12000
Glace	0
Huile	— 10
Mercure	— 39
Or	1250
Phosphore	40
Plomb	330
Potassium	60
Sodium	90
Soufre	110
Zinc	360

§ 4. — Production de la chaleur.

DÉFINITIONS. — *La chaleur spécifique* ou la *capacité pour la chaleur* est la propriété des corps d'absorber ou de dégager des quantités de chaleur différentes pour un même changement de température.

La *chaleur patente* est la chaleur dont les degrés peuvent être appréciés. — Ce terme est opposé à celui de *chaleur latente* qui est la quantité de chaleur absorbée (sans accroissement de température apparent) par les corps dans un changement de l'état solide à l'état liquide, comme la glace qui se change en eau; l'eau qui se change en vapeur.

Le *calorie* ou *l'unité de chaleur* est la quantité de calorique

Digitized by Google

nécessaire pour élever d'un degré centigrade la température d'un litre ou kilogramme d'eau. (Dans 30 litres ou kilogrammes d'eau à 135 degrés de chaleur, il y a 30×135 ou 4050 calories.)

PROPOSITION I. — La détermination de la puissance calorifique des divers combustibles se trouve résumée dans les deux tableaux suivants : le premier sert à évaluer les calories d'après le poids ; le second, qui n'est applicable qu'aux diverses espèces de bois, donne les évaluations d'après le stère. — Les chiffres qui vont suivre n'ont rien d'absolu ; ils ne servent que comme termes de comparaison et dans des calculs approximatifs.

(1) *Relevé des quantités de chaleur (calories) développées par un kilogramme des combustibles suivants :*

Alcool	6190
Bois séché à l'air	2900
Bois séché au four	3600
(Les bois à l'état ordinaire renferment près de 30 p. 100 d'humidité)	
Carbone (passant à l'état d'oxyde de carbone)	7170
Charbon de bois ordinaire	6000
Charbon de bois sec	7090
Charbon de tourbe	5800
Cire blanche	9370
Cire jaune	10340
Coke pur	7050
Ether sulfurique	8130
Gaz oléfiant	6830
Houille de 1re qualité	7050
Id. 2e id.	6400
Id. 3e id.	5000
Huile de navette	9300
Huile de térébenthine	4660
Huile d'olive	9000
Hydrogène	34700
Hydrogène carboné	6620
Naphte	7330
Oxyde de carbone	1940
Tourbe choisie	3000
Tourbe ordinaire	1300

Digitized by Google

(II) *Relevé des quantités de chaleur (en calories) développée par un stère des divers bois.*

NATURE DU BOIS.	CHARBON renfermé dans un stère.	HYDROGÈNE renfermé dans un stère.	PUISSANCE calorifique d'un stère.	QUANTITÉ de cendres obtenue avec 1,000 kilog.
	kilog.	kilog.	calories.	kilog.
Aune	150	3,00	1,300,000	20
Bouleau	170	3,60	1,520,000	10
Charme	180	2,50	1,570,000	26
Chêne	180	2,00	1,550,000	25
Hêtre	190	2,60	1,600,000	30
Pin	140	2,60	1,300,000	7
Sapin	160	3,00	1,400,000	8

§ 5. — Production de la vapeur.

DÉFINITIONS. — La vapeur d'eau se produit par ébullition à 100 degrés et par évaporation ou émission spontanée à des températures au-dessous de 100 degrés (terme de l'ébullition).

La *vapeur à saturation* est la vapeur qui fait équilibre par sa tension à une nouvelle production de vapeur; si on la comprime, une partie s'en condense en eau; il y a condensation; si on la laisse échapper, l'ébullition de l'eau recommence et avec elle la formation de nouvelle vapeur. C'est à cette vapeur saturée, qui est employée dans les machines, qu'on applique l'expression de force élastique de vapeur. La température de la vapeur à saturation est égale à celle du liquide.

Les conditions de la production de la vapeur dans les usages industriels et comme force motrice sont soumises à certaines règles de physique et d'économie qui peuvent être résumées dans les trois propositions suivantes.

PROPOSITION I. — La relation entre la tension et la température de la vapeur dans une chaudière est déterminée par la formule suivante avec laquelle on peut construire une table.

Digitized by Google

(Pression sur un centimètre carré de surface exprimée en atmosphères.) $= (0{,}29 + 0{,}007\ t)^5$.

(t est la température en degrés centigrades ; en multipliant p par 1,03, on obtient la pression en kilogrammes.)

Pour plus de facilité indiquons les points de repère suivants :

TEMPÉRATURE en degrés centésimaux.	POIDS en kilogrammes d'un mètre cube de vapeur.	FORCE ÉLASTIQUE de la vapeur en pressions atmosphériques.
80	0,3	0,5
100	0,6	1,0
120	1,1	2,0
130	1,5	2,6
140	1,9	3,6
150	2.5	4,7
160	3,2	6,1
170	4,0	7.9
180	4,9	9,9

Voici encore quelques explications sur les chiffres ci-dessus : l'élasticité de la vapeur est égale à l'unité, ou à la pression atmosphérique au moment où la vapeur se forme, c'est-à-dire au moment où l'eau bouillante est à 100 degrés. L'eau, la glace même s'évaporent à toutes les températures; à 0 degré la vapeur n'a plus qu'une tension de 0,006 de la pression atmosphérique; à *moins* 20 *degrés* sa tension descend à 0,001. — Mais pour l'objet qui nous préoccupe, ce qui est plus intéressant que les basses températures, ce sont les températures élevées auxquelles la vapeur est soumise dans les chaudières. Ainsi à 200 degrés l'élasticité serait de 15 fois la pression atmosphérique. — Pour rendre cet accroissement plus compréhensible, on n'a qu'à le transformer en hauteur de mercure; une atmosphère fait équilibre à $0^m,76$, donc ces 15 atmosphères équivalent à $11^m,40$; mais une atmosphère exerce une pression de 1,03 kilog. sur un centimètre carré ; donc $15 \times 1{,}02 = 15{,}453$ kilog. représentent la pression de la vapeur à 200 degrés de chaleur sur un centimètre carré de la chaudière.

En résumé, on voit qu'en connaissant la température de la vapeur, on peut en déduire la force d'élasticité. C'est sur ce principe que repose la théorie du *thermomanomètre* comme

Digitized by Google

nous le verrons dans le dernier chapitre, où il sera question des manomètres.

PROPOSITION II. — La production de la vapeur se calcule d'après les formules suivantes :

1° La quantité (Q) de chaleur contenue dans un poids (p) donné de vapeur à la température (t en degrés centigrades) est $Q = p\ (550 + t)$ calories.

2° La quantité (Q') de combustible nécessaire pour obtenir un poids (p) donné de vapeur, ou pour transformer le même poids (p) d'eau en vapeur à une température donnée est

$$Q' = p/n\ (500 + t') \text{ kilogrammes.}$$

(t' est la différence des températures entre l'eau à vaporiser et celle de la vapeur à produire ; n le nombre des calories que produit un kilogramme déterminé de combustible dans un foyer ordinaire.)

3° La quantité d'eau nécessaire (p) à la température (t) qu'il faut ajouter à un poids (p') de vapeur à la température (t') pour que le mélange soit à la température (t'')

$$p = \frac{p'\ (550 + t' + t'')}{t'' - t.}$$

4° La quantité de vapeur nécessaire pour élever la température de l'eau ressort de la formule (3°), cette quantité (p')

$$p' = \frac{p\ (t'' - t)}{550 + t' + t''}$$

PROPOSITION III. — Dans la pratique on a besoin de connaître la quantité de vapeur que peut produire un kilogramme de combustible et l'air nécessaire pour opérer la combustion. Les données d'expérience qui s'y rapportent se trouvent classées dans le tableau ci-après :

Nature du combustible (1 kilogramme).	Vapeur produite par 1 kilog. de combustible et volume d'air nécessaire pour brûler 1 kilog.	
	kilogrammes.	mètres cubes.
Bois de chêne	2,5	8
Bois de sapin	2,7	6
Charbon de bois	6,0	16
Coke	5,0	13
Houille cassante	4,0	16
Houille grasse	6,0	18
Lignite	3,5	17
Tourbe	3,0	9

Digitized by Google

§ 6. — Qualités physiques des pierres de construction.

DÉFINITIONS. — Les pierres ou minéraux comprennent :

1° les minerais, d'où l'on extrait les métaux;

2° Les pierres précieuses et les espèces minérales généralement cristallisées qui n'ont pas d'usage;

3° Les pierres communes ou pierres à bâtir;

4° Enfin le sable, l'argile, le bitume minéral.

Dans les constructions nous n'avons à nous occuper que de ces deux dernières catégories.

PROPOSITION I. — On divise généralement les pierres soit d'après leur composition chimique, comme nous le verrons plus loin, en pierres calcaires et en pierres siliceuses, soit d'après leurs qualités physiques, en pierres dures et en pierres tendres. — Sous le rapport de la contexture on admet dans ces pierres une infinité de variétés : les pierres *très-dures*, qui rayent l'acier et font feu avec le briquet, les pierres *granuleuses* ou *oolithiques* sont composées de grains très-gros, réunis par une espèce de ciment; les pierres *schisteuses* sont appelées *lamelleuses* ou *laminaires*, quand elles présentent de petites ou de grandes lames; les pierres *cristallines* ou *granitoïdes* renferment des cristaux distincts; les pierres *saccharoïdes* ressemblent, quant à la conformation, au sucre; il y a aussi les pierres *terreuses* ou *crayeuses*.

Voici le relevé des pierres les plus usitées d'après l'ordre minéralogique :

1° *Les pierres calcaires dures*, ou calcaires siliceux, sont taillées à la scie et à l'eau; les espèces des environs de Paris sont le *liais*, le *cliquart*, la *roche*, le *banc-franc*.

2° *Les pierres calcaires tendres*, ou calcaires coquilliers se taillent à sec et à la scie; près de Paris se trouvent : la *lambourde*, le *Saint-Leu*, le *vergelet*; ils durcissent à l'air. Les calcaires qui restent tendres ne sont pas employés dans les constructions comme pierres; on s'en sert pour faire de la chaux : la craie, le calcaire grossier.

3° *Les marbres*, renfermant cinq espèces principales : le

Digitized by Google

marbre simple à une seule couleur, le marbre statuaire de l'Italie ; — le marbre noir et blanc veiné de la Belgique ; — le marbre brèche qui renferme des morceaux angulaires de diverses couleurs engagés dans la pâte ; — le marbre composé qui, outre le calcaire, contient du mica ; — le marbre lumachelle qui renferme des coquilles.

4° *Les cailloux, les silex* sont des fragments arrondis ou rognons de quartz.

5° *Les pierres meulières* sont formées de débris quartzeux très-durs ; on s'en sert pour les meules de moulins ; de là leur nom. Ce sont d'excellentes pierres à bâtir ; elles font corps avec le mortier, qui se loge dans les nombreuses cellules dont elles sont traversées. Les rocailles ou débris de ces pierres sont employés dans le béton et pour les empierrements des chaussées.

6° *Les schistes* sont des composés de silicates d'alumine et d'oxydes de fer ; ils servent de pierres de construction. Les schistes argileux qui renferment des pyrites de fer constituent les ardoises, dont les meilleures ont trois millimètres d'épaisseur.

7° *Le grès* est formé de grains de silex ou de quartz agglomérés par un ciment argileux. On distingue le grès rouge ancien qui renferme du mica ; le grès houilleux montre des traces de houille ; on rencontre aussi les grès quartzeux, calcaires et argileux. Si ces grès renferment des cailloux, on les nomme pouddingues. Les grès sont colorés par des oxydes de fer.

8° *Le granit* est une roche cristalline, un mélange bien distinct de quartz, de feldspath et de mica. C'est la pierre la plus dure ; elle l'est moins si le mica est en abondance ; elle prend alors le nom de gneiss.

9° *La serpentine* est un mélange de silicate et d'hydrate de magnésie ; on s'en sert pour l'intérieur des édifices.

10° *Les pierres feldspathiques* sont des silicates simples, telles que le porphyre, la siénite ; ce sont les pierres les plus durables, mais difficiles à tailler. Dans l'antiquité on les taillait, aujourd'hui on n'en fait plus que des pavés.

11° *Les pierres volcaniques* offrent des traces de fusion ; ce

Digitized by Google

sont les *basaltes*, les *trachites*, les *laves*, les *pierres ponces*. Les espèces compactes sont employées pour des bornes, des chasses-roues, des pavés. Les espèces tendres sont réduites en poudre; elles servent pour la fabrication de la chaux hydraulique, sous le nom de *pouzzolanes naturelles*; dans l'exposé relatif aux mortiers il sera question des pouzzolanes artificielles.

12° *Le bitume* se trouve dans la nature à l'état solide ou à l'état liquide; l'*asphalte* est solide. On emploie ces matières mélangées avec du sable ou avec des cailloux, et on en fait une espèce de béton. Le bitume éprouve une forte contraction par le froid.

PROPOSITION II. — Les pierres à bâtir ont à satisfaire à trois conditions essentielles : elles doivent se présenter en grandes masses, être débitées et taillées facilement, sans trop de dépenses; enfin, elles doivent résister aux pressions et à la décomposition par les influences atmosphériques. La facilité de l'exploitation peut résulter de l'examen des carrières, et les degrés de résistance se reconnaissent par analogie de cas semblables ou par des expériences directes.

Mais, pour distinguer les pierres de bonne qualité de celles qui formeraient une mauvaise maçonnerie, il faut pouvoir reconnaître ces dernières; elles ont des *fils*, *filets* ou *limés* ou *rognons*; ce sont des fentes ou cavités remplies d'une matière moins dure et non-adhérente; si ces fils ou rognons sont plus durs que la pierre, on les appelle des *clous*; ils offrent un inconvénient d'une autre espèce : la difficulté de la taille devient presque insurmontable. — Quand ces fentes ou cavités sont remplies de matières étrangères pulvérulentes ou *terrasses*, on les vide et on les remplit ensuite de mastic. Les calcaires ont souvent sur une de leurs faces une croûte sans consistance nommée *bouzin*; ces pierres doivent donc toujours être *ébousinées* au vff. — Les pierres posées en délit se fendent; le *lit* ou la pose naturelle de la pierre comprend les couches parallèles et horizontales; retourner la pierre, la poser de champ ou en délit est une opération qui a lieu souvent, mais qui devrait toujours être défendue.

Digitized by Google

La partie défectueuse des pierres en taille peut être enlevée; ainsi réduites à une petite dimension, ces pierres ne sont plus que des moëllons, avec lesquels on fait les maçonneries ordinaires.

Une pierre extraite pendant la mauvaise saison et qui n'est pas séchée, qui n'a pas perdu son eau de carrière est, en général, une mauvaise pierre. — Enfin, il ne reste plus que les *pierres gélives*, qui sont les plus mauvaises; examinons-les.

Proposition III. — La gelée exerce sur certaines pierres un effet désastreux; elle les désagrége surtout aux angles et aux arêtes; ces pierres, appelées *pierres gélives*, absorbent l'eau de l'atmosphère, qui, en se congelant, écarte leurs molécules. Il est donc prudent de rejeter ces pierres dès qu'on leur reconnaît cette qualité. L'essai se fait en trempant des cubes de la pierre suspecte dans une dissolution de sulfate de soude (sel de Glauber); ce sel est absorbé. Quand ensuite on expose la pierre à l'air, le sel en sort et s'effleure à la surface sous la forme de duvet ou salpêtre des caves. On recueille ces efflorescences qui, si elles renferment de la matière pierreuse, ont dû naturellement désagréger la pierre, exactement comme l'eau congelée l'eût fait. — Cette méthode remplace l'essai direct de laisser tremper les échantillons de pierres dans l'eau pendant l'automne et de les exposer à la gelée en hiver.

§ 7. — Qualités physiques des bois de construction.

Définitions. — Les bois employés dans les constructions font partie des édifices et des machines, ou ils servent comme moyens d'exécution, tels que les échafauds, les ponts de service, les batardeaux.

Dans ces divers usages les bois peuvent être classés ainsi qu'il suit :

1° Le chêne, le peuplier, le pin, le sapin, pour les charpentes; 2° le charme, l'orme, le frêne, le noyer, le teek, pour la carrosserie et le charronnage; 3° le chêne, le noyer, l'a-

Digitized by Google

cajou, le citronnier, l'érable, le platane, l'olivier, pour l'ébénisterie; 4° le chêne, le peuplier, le sapin, le saule, le platane, l'acacia, pour la menuiserie; 5° le cormier, le hêtre, le houx, le buis, le châtaignier, le pommier, pour les outils; 6° le charme, le cormier, le poirier, le pommier, pour les engrenages; 7° le cormier, le gayac, pour les coussinets; 8° le châtaignier, l'aune, le hêtre, le cyprès, l'orme, pour les tuyaux et les pompes.

PROPOSITION I. — Pour que les bois soient reconnus de bonne qualité, ils doivent être exempts des vices énumérés ainsi dans l'ordre alphabétique : 1° les *abreuvoirs* sont des vides provenant de la perte de branches; 2° l'*aubier* est du bois non mûr; 3° la *carie* est une pourriture avancée; 4° les *champignons*, les *mousses* indiquent un arbre atteint de mort; 5° les *chancres* ou *ulcères* sont des vides desquels suinte une eau rousse; 6° les *cicatrices* proviennent des plaies de l'écorce; 7° les *écoulements de séve* sont occasionnés par des gerçures; 8° les *excroissances* sont des superfluités de la partie ligneuse; 9° les *flâches* ou *creux* proviennent de la courbure de l'arbre; 10° les *gélivures* sont des fentes en rayon résultant de la gelée; 11° les *moulures* sont des piqûres de vers; 12° les *nœuds* sont formés par les branches; ils rendent le bois difficile à travailler; 13° les *rebours* sont des fibres dont la disposition naturelle est dérangée; 14° les *retours* sont des bois pourris sur pied; 15° les *roulures* sont des fentes concentriques qui séparent les couches annuelles; 16° enfin, les *tranchées* sont des fibres déplacées par des nœuds.

Si les parties vicieuses ont une grande étendue, il faut refuser les bois; quand elles ne sont pas profondes, on les enlève et on remplit les vides avec d'épaisses couches de goudron.

Quant aux qualités des métaux, il en sera question dans le chapitre consacré à la chimie.

Digitized by Google

CHAPITRE III.

CHIMIE.

§ 1. — Principes.

DÉFINITIONS. — La chimie se divise en deux parties : la chimie inorganique ou minérale, la chimie organique ou chimie végétale et animale. — Dans l'industrie des travaux publics et des machines, on se sert presque exclusivement de la chimie minérale pour l'analyse ou la composition des pierres, des métaux, des eaux. La chimie végétale ne s'occupe que de la préparation des bois.

PROPOSITION I. — La chimie unit les corps ou les sépare ; elle emploie dans ce but des agents comme auxiliaires, qui sont : la chaleur, la lumière, l'électricité, les réactifs destinés à s'assurer de l'existence d'un corps défini, dans un composé donné. — Il existe de plus une force chimique peu connue encore et désignée sous le nom mystérieux d'*action de présence* ou *catalactique :* une éponge de platine, posée devant un jet d'hydrogène, produit par sa présence seule la combinaison de l'hydrogène avec l'oxygène de l'air, et forme de l'eau. Cette production a lieu avec dégagement de chaleur.

PROPOSITION II. — La force naturelle qui réunit les molécules des corps entre eux s'appelle la *cohésion*. La force que possèdent les éléments de se réunir, pour former des composés, est l'*affinité chimique;* elle ne peut produire que des corps composés, car la nature seule crée les corps simples. Produire par un procédé chimique ou mécanique un corps simple est le problème insoluble de la découverte de la pierre philosophale, que s'étaient posé les chimistes des siècles passés ou les *alchimistes*. — Cette composition des corps ne devra pas être confondue avec le mélange.

Digitized by Google

Le *mélange* se présente très-souvent dans les opérations chimiques; c'est la réunion mécanique des corps dans laquelle ils ne changent pas de nature : mélange d'eau et de sucre. — Si les corps changent de nature, ce mélange prend le nom de combinaison chimique : hydrate de chaux ou combinaison de l'eau avec la chaux.

PROPOSITION III. — Anciennement, on ne reconnaissait comme corps simples ou éléments que le sel, l'huile et l'esprit; plus tard, on ajouta l'eau et la terre, et on entendait par le mot terre toute matière fixe que laissaient les corps après leur combustion. — Cette nomenclature fut encore modifiée, et avant d'arriver à la chimie moderne, on admit quatre éléments : l'air, l'eau, la terre et le feu.

Actuellement, on reconnaît soixante-deux corps simples, qu'on divise en deux catégories : les métalloïdes et les métaux. En voici la liste :

NOMENCLATURE DES CORPS SIMPLES.

(*Métalloïdes.*)

Arsenic,	Chlore,	Phosphore,
Azote,	Fluor,	Sélénium,
Bore,	Hydrogène,	Silicium,
Brome,	Iode,	Soufre,
Carbone,	Oxygène,	Tellure.

(*Métaux*).

Aluminium,	Cobalt,	Mercure,
Antimoine,	Colombium,	Nickel,
Argent,	Cuivre,	Or,
Barium,	Didyme,	Platine,
Bismuth,	Erbium,	Plomb,
Cadmium,	Etain,	Potassium,
Calcium,	Fer,	Sodium,
Cérium,	Magnésium,	Uranium,
Chrome,	Manganèse,	Zinc, etc., etc.

Total, 62.

(Les corps métalliques non dénommés n'ont aucune importance sous le rapport pratique ; ils sont à peine connus.)

Tels sont les corps avec lesquels la nature, — que les hommes sont parvenus à imiter, — a formé les corps composés. Ces derniers diffèrent entre eux du moment que leurs éléments ou leurs proportions ne sont plus les mêmes. — Cependant il existe des *corps isomères*, qui contiennent les

Digitized by Google

mêmes substances dans les mêmes proportions, mais qui diffèrent par leurs propriétés physiques et chimiques; tel que l'hydrogène bicarboné et l'huile concrète de rose.

PROPOSITION IV. — Les métalloïdes s'unissent à l'oxygène et forment des acides. — Les métaux s'unissent à l'oxygène et donnent des oxydes, ou alcalis, ou bases, ou encore corps basiques. — Les acides, unis aux oxydes ou aux bases, forment des sels, ou corps neutres. Exemple : l'oxygène, uni au soufre, forme l'acide sulfurique, qui, uni à l'oxyde de calcium (chaux), produit un sel : le sulfate de chaux (plâtre).

(OBSERVATIONS. — La remarque que nous avons faite au sujet du manque de précision des définitions de la physique s'applique également à la chimie; car la division des corps en métalloïdes, en métaux, n'est pas rigoureuse : certains métalloïdes, le silicium entre autres, classé comme métalloïde présente les qualités d'un métal.)

PROPOSITION V. — Les nombres suivant lesquels les combinaisons des corps simples entre eux ont lieu s'appellent *équivalents chimiques*. — Ces équivalents ou nombres proportionnels sont des quantités pondérables et se rapportent au poids de l'oxygène pris pour unité, ou 100.

DÉSIGNATION des CORPS SIMPLES.	SYMBOLES ou signes caractéristiques.	ÉQUIVALENTS chimiques par rapport à l'oxygène.	DÉSIGNATION des CORPS SIMPLES.	SYMBOLES ou signes caractéristiques.	ÉQUIVALENTS chimiques par rapport à l'oxygène.
Aluminium.	Al.	171	Iode.....	Io.	1578
Antimoine..	Sb.	806	Lithium....	Li.	80
Argent.....	Ag.	1350	Magnésium.	Mg.	151
Arsenic.....	As.	937	Manganèse.	Ma.	344
Azote.....	Az.	175	Mercure....	Hg.	1250
Baryum ...	Ba.	858	Nickel.....	Ni.	3697
Bismuth...	Bi.	1330	Or.....	Au.	1227
Bore.....	Bo.	236	Oxygène...	O.	100
Brome.....	Br.	978	Phosphore.	Ph.	490
Calcium ...	Ca.	250	Platine.....	Pl.	1232
Carbone...	C.	75	Plomb.....	Pb.	1294
Chlore.....	Cl.	443	Potassium.	K.	490
Chrome....	Cr.	328	Sélénium..	Se.	491
Cobalt.....	Co.	369	Silicium...	Si.	266
Cuivre.....	Cu.	3956	Sodium....	Na.	287
Etain.....	Sn.	735	Soufre.....	S.	200
Fer.....	Fe.	350	Strontium..	Sr.	548
Fluor.....	Fl.	239	Tellure....	Te.	806
Hydrogène.	H.	12	Zinc.....	Zn.	406

Digitized by Google

§ 2. — Combinaisons de l'oxygène.

DÉFINITIONS. — L'oxygène, par sa combinaison avec les corps, produit la combustion. La flamme d'un corps comprend plusieurs parties : la partie extérieure, qui est oxydante ; celle intérieure, qui est désoxydante. C'est sur cette double qualité que reposent les essais au chalumeau, à l'aide duquel on peut reconnaître la nature des corps.

Considéré comme corps simple, l'oxygène n'a pas d'usage. Nous ne l'envisagerons que dans ses rapports avec les autres corps, quand il se présente sous forme d'acide ou d'oxyde. Dans ce paragraphe, nous mentionnerons sa combinaison et son mélange avec l'azote, d'où résulte l'acide azotique et l'air atmosphérique.

PROPOSITION I. — Combiné avec l'azote, l'oxygène forme l'*acide azotique* ou *nitrique*, qui, à l'état de pureté, est solide et n'a pas d'usage ; étendu d'eau il constitue l'*eau forte*, et mis en contact avec le coton, il forme la *pyroxiline* ou *poudre-coton*. Cet acide se trouve dans la nature combinée avec la soude et la potasse (salpêtre, nitre).

PROPOSITION II. — Mélangé avez l'azote, l'oxygène forme l'essence de la vie ou l'air atmosphérique, qui est composé ainsi : en volume, oxygène, 0,208 ; azote, 0,792 ; — et en poids, oxygène, 0,23 ; azote, 0,77. — L'oxygène dont on a besoin dans l'industrie s'emprunte toujours à l'air.

Il reste à examiner la combinaison la plus importante de l'oxygène, c'est celle avec l'hydrogène, qui constitue l'eau.

---

§ 3. — Eau.

PROPOSITION I. — La composition de l'eau est fixée ainsi : oxygène 1, et hydrogène 2, en volume ; et oxygène 88,9, hydrogène 1,1, en poids.

Dans le paragraphe suivant nous allons examiner les qua-

Digitized by Google

lités chimiques de l'eau. Quant à ses qualités physiques et à son changement en vapeur, ils ont formé l'objet des recherches dans le chapitre consacré à la physique.

PROPOSITION II. — L'action de l'eau sur les diverses substances peut être définie ainsi qu'il suit :

1° L'eau, mêlée à l'air, est absorbée par certains corps, tels que l'acide sulfurique, la potasse, la chaux vive. Ces corps s'appellent *hygrométriques*. Cette vapeur d'eau est rendue liquide et est absorbée par ces corps ; ce phénomène s'appelle *déliquescence*.

2° D'autres sels perdent l'eau ; ils deviennent opaques et friables quand l'air est sec, de transparents et cristallisés qu'ils étaient. Ce phénomène s'appelle *efflorescence*.

3° L'oxygène se combine dans de plus fortes proportions avec l'hydrogène et forme le bioxyde ou eau oxygénée, qui sert pour nettoyer les vieux tableaux, attendu que l'excès d'oxygène est rendu au sulfure de plomb noir, qui reprend sa forme primitive de carbonate de plomb (blanc de céruse).

PROPOSITION III. — L'eau n'est jamais chimiquement pure ; l'eau de pluie, la plus potable, renferme de l'air. L'eau est jaunâtre quand c'est l'oxyde de fer qui la colore ; elle est brune quand elle renferme des matières organiques en dissolution.

Dans le relevé suivant se trouvent classées les eaux d'après leur provenance, avec l'indication de la quantité des résidus par litre d'eau.

Nature des eaux.	Quantité de résidu par litre d'eau.
	Grammes.
Eau de Seine avant sa jonction avec la Marne	0,170
Eau de Seine dans Paris	0,171
Eau de Seine à la sortie de Paris	0,181
Eau de Seine à Rouen	0,170
Eau de la Marne	0,180
Eau de la Vienne (à Troyes)	0,198
Eau du Rhône (à Lyon) en été	0,107
Eau du Rhône (à Lyon) en hiver	0,184
Eau de la Loire	0,035
Eau de la Saône (à Lyon)	0,141
Eau du canal de l'Ourcq (près Paris)	0,452

Digitized by Google

Source d'Arcueil (fontaine de l'Institut, à Paris)		0,466
Sources de Rouen		1,500
Sources du Havre		0,600
Sources de Belleville		1,600
Eau artésienne	à Perpignan	0,230
	à Rouen	0,130
	à Elbœuf	0,710
	à Paris	0,143

Ces résidus se composent généralement de sels de chaux, de chlorures, de sels de potasse, d'oxyde de fer. Les eaux chargées de sulfate de chaux ou de sélénite sont appelées eaux séléniteuses.

PROPOSITION IV. — Différents moyens ont été proposés pour purifier les eaux, surtout celles destinées à l'alimentation des chaudières. On a versé dans les eaux impures des matières minérales ou des matières végétales : les premières ont pour but de produire une réaction chimique, et de faire tomber au fond les matières terreuses tenues en dissolution ; les matières végétales doivent empêcher simplement les incrustations en délayant les dépôts terreux. Aucun des procédés n'est praticable, et on se contente d'aller chercher des eaux pures ou de nettoyer les chaudières quand les eaux sont impures. — Cependant nous croyons utile de donner ici, d'après M. Payen, les substances et les quantités que l'on en doit employer pour un générateur d'une production de vapeur déterminé. — Les générateurs produisant 300 kilogrammes de vapeur par jour, exigent, par mois, les quantités ci-dessous de l'une des substances suivantes :

Glaise	6.000 kil.
Pommes de terre	4.500
Sirop de fécule à 33°	1.500
Son	1.500
Sucre brut sec	1.000
Extrait de bois colorant (campêche)	100
Rognures de fer-blanc ou de tôle	20.000
Carbonate de soude	3.000
Carbonate de potasse	3.500

PROPOSITION V. — Une dissolution est dite *saturée* quand à une température donnée elle ne peut plus dissoudre de nouvelles quantités de sels. — Lorsque l'eau contient un sel en

Digitized by Google

dissolution, elle ne bout plus à la température ordinaire. Dans ses excellentes leçons de chimie, M. Doré fils détermine comme ci-dessous les diverses quantités de sel qu'une même masse d'eau peut dissoudre, ainsi que le point d'ébullition de la dissolution.

NATURE DES SELS.	QUANTITÉS DE SEL dissoutes dans 100 parties d'eau.	POINT D'ÉBULLITION de la dissolution.
Chlorure de sodium	41	108
Chlorhydrate d'ammoniaque	89	114
Chlorure de strontium	118	118
Carbonate de potasse	205	135
Azotate de chaux	362	151
Chlorure de calcium	325	179

§ 4. — Carbone.

DÉFINITIONS. — Sous la forme pure, le carbone se présente comme diamant; sous la forme impure, il constitue le noir de fumée, le graphite, le charbon métallique, le charbon animal et les divers combustibles dont il sera question. Pour le moment je n'ai qu'à dire quelques mots sur l'emploi industriel de ces trois premières espèces de carbone; sur les qualités désinfectantes du charbon, ce qui me donnera l'occasion de parler du chlore. Enfin, je terminerai ce paragraphe en indiquant les combinaisons du carbone.

PROPOSITION I. — Le *noir de fumée* est le carbone qui s'est échappé à la suite d'une combustion incomplète; il sert pour la peinture et les encres d'imprimerie. — Le *graphite*, improprement nommé *mine de plomb*, sert pour les crayons et pour la pâte destinée à faciliter le mouvement des essieux. Il renferme près de 96 pour cent de carbone; on le trouve dans la nature; il est produit également dans les hauts fourneaux, mélangé avec la fonte. — Le *charbon métallique* est du charbon qui a été porté à une haute température; il est sonore et brillant. — Enfin, le *charbon animal*, charbon d'os ou noir animal, a la faculté au plus haut point d'absorber les matières colo-

Digitized by Google

rantes. Le charbon saturé de ces matières peut être revivifié jusqu'à vingt fois. On n'a qu'à le laver dans de l'eau renfermant de faibles quantités d'acide chlorhydrique, et le calciner.

PROPOSITION II. — Le charbon de bois est très-poreux, il absorbe rapidement les gaz, la vapeur d'eau et les matières colorantes; c'est une espèce d'éponge à gaz qui prend quatre-vingt-dix fois son volume de gaz ammoniaque, et cinquante-cinq fois son volume d'acide sulfhydrique. — Le filtrage des eaux par le charbon repose sur la porosité de ce corps; il conduit la chaleur et se laisse traverser par le fluide électrique.

Cette qualité désinfectante est également propre au chlore, corps simple qui se présente à la température ordinaire sous la forme d'un gaz verdâtre. Il s'unit difficilement à l'oxygène, mais facilement à l'hydrogène et forme l'acide hydrochlorique ou muriatique; il se combine avec les métaux, par exemple avec le sodium, et forme le sel marin. La soude, la chaux, la potasse absorbent une grande masse de chlore et donnent naissance à des hypochlorites, appelés *chlorures décolorants* ou *désinfectants;* ils se décomposent sous les influences les plus faibles, et rendent libre le chlore. On emploie ces matières dans l'assainissement de la voirie.

L'absorption par le charbon repose sur une propriété physique; celle par le chlore sur une propriété chimique. Le chlore, avide d'hydrogène, décompose les matières végétales et animales et les gaz délétères qui renferment du gaz hydrogène.

PROPOSITION III. — La combinaison du carbone et de l'oxygène produit, d'après ses proportions, les corps suivants :

L'*acide carbonique*. Il peut être liquéfié par une pression de 36 atmosphères, et solidifié par un abaissement de température. L'eau dissout son propre volume d'acide carbonique, et par la pression elle en absorbe six fois autant.

L'*oxyde de carbone* est un corps neutre qu'on n'a pas encore pu liquéfier ni solidifier; il est inflammable et brûle avec une flamme bleue, en donnant naissance à de l'acide carbonique. Ce gaz n'entretient ni la combustion ni la respiration;

Digitized by Google

il constitue un poison violent qui produit directement la mort en cas d'asphyxie par le charbon.

Une dernière combinaison d'oxygène et de carbone est l'*acide oxalique* renfermé dans les feuilles d'oseille.

PROPOSITION IV. — Combiné avec l'azote, le carbone forme le *cyanogène*, corps gazeux qui peut être liquéfié et solidifié, lequel, combiné avec l'hydrogène, forme l'acide *prussique* ou cyanhydrique. Le cyanogène s'unit aux métaux et forme des cyanures; avec le fer, il constitue un double cyanure de fer ou bleu de Prusse. Combiné avec l'oxygène, le cyanogène forme l'acide fulminique, lequel, combiné à son tour avec l'oxyde d'argent ou de mercure, forme les *fulminates* d'argent ou de mercure.

PROPOSITION V. — C'est suivant les proportions dans lesquelles la combinaison a lieu, que l'hydrogène uni au carbone donne naissance à des corps solides : le caoutchouc, la gutta-percha, etc.; à des corps liquides : les huiles essentielles, etc.; enfin à des corps gazeux : le gaz des marais, le gaz oléfiant. — Ces produits gazeux ont une grande importance dans l'éclairage et dans les mines. Nous nous y arrêterons donc quelques instants.

Le *gaz des marais* ou l'hydrogène protocarboné se trouve dans la nature. En Asie et en Amérique, il sort des entrailles de la terre; on l'y utilise de toutes les manières. Mêlé à l'air atmosphérique, il donne naissance au feu grisou.

Le *gaz oléfiant* ou hydrogène bicarboné ne se trouve pas dans la nature. — Ces deux gaz sont les principes essentiels du gaz d'éclairage que fournit la distillation de la houille.

La composition du *gaz d'éclairage* est la suivante avant sa purification :

Hydrogène protocarboné, 72; hydrogène bicarboné, 8; oxyde de carbone, 13; acide carbonique, 4; acide sulfhydrique, 3. Total, 100 parties en poids. La purification de ce mélange gazeux a pour but de lui enlever les gaz acides carbonique et sulfhydrique.

Digitized by Google

§ 5. — Combustibles.

Définitions. — Les combustibles dont on se sert dans l'industrie manufacturière et dans les constructions comprennent le bois naturel, le charbon de bois et les combustibles fossiles, qui sont le résultat de la transformation du bois dans le sein de la terre ; ils se présentent sous la forme de la tourbe, du bois fossile, du lignite, de la houille, de l'anthracite.

Proposition I. — Le *bois*, de même que tous les végétaux, se compose de la partie ligneuse et des parties étrangères, qui, après la décomposition par le feu, forment les cendres. La *ligneuse* se compose de la *cellulose* et de la *lignine* ou *matière incrustante*. Ces deux corps sont composés, dans des proportions différentes, de carbone, d'oxygène et d'hydrogène. Le bois est une substance trop connue pour qu'il soit utile d'entrer dans des détails à ce sujet. Faisons remarquer seulement que la distillation du bois donne le *goudron*, qui renferme la *créosote*, liqueur incolore, brûlante et caustique, qu'on emploie pour la conservation du bois de construction exposé à l'humidité.

Le *charbon de bois* est du bois calciné ou distillé.

La *tourbe* est le résultat de la décomposition des plantes dans les terrains marécageux ; on en fait aussi du coke ou *charbon de tourbe*. — Les bancs tourbeux dépassent rarement une épaisseur de 7 mètres ; on les trouve sous des couches d'alluvion de 10 mètres d'épaisseur. On distingue la tourbe noire, grise, blanche et celle mousseuse ou compacte. Dans le commerce, on vend la tourbe en morceaux ou moulée.

Le *bois fossile* présente le premier degré de l'altération du bois.

Le *lignite* est du bois fossile à un degré plus avancé et s'approche de la houille ; il montre encore l'aspect de l'organisation végétale.

La *houille* offre plusieurs variétés : la *houille grasse et dure* sert pour fabriquer le coke et pour réduire les minerais de

Digitized by Google

fer ; la *houille grasse maréchale* ou houille à longue flamme est utilisée dans les forges et dans la préparation du gaz d'éclairage ; enfin, la *houille maigre* sert pour chauffer les machines à vapeur. — La houille ne doit pas être abandonnée au soleil ou à la pluie ; la chaleur lui fait perdre son bitume ; l'eau transforme les parties jaunes brillantes, qui sont du bisulfure de fer en sulfate de péroxyde de fer. Dans cette combinaison il peut se produire une chaleur suffisante pour enflammer la masse ; aussi ne faut-il jamais renfermer la houille humide. La houille est falsifiée par des schistes bitumineux qui ne brûlent pas ; on les reconnaît à leur poids et à leur aspect terreux ; on falsifie aussi ce combustible par l'addition d'eau.

Le *coke* est de la houille distillée ou calcinée ; il ne brûle qu'en grandes masses ; il pèse moins que la houille ; il ne donne pas de fumée.

L'*anthracite* est le dernier terme de la décomposition du bois enfoui primitivement dans le sein de la terre ; il est d'un noir grisâtre et doué d'un éclat métallique. Parmi tous les combustibles naturels, l'anthracite renferme le plus de carbone. Cependant il est très-difficile à allumer ; il ne s'embrase qu'en grandes masses et doit être soumis à une chaleur très-élevée. On s'en sert pour fabriquer une espèce de coke par sa calcination avec de la houille grasse.

PROPOSITION II. — La *composition chimique* des divers combustibles a été déterminée ainsi qu'il suit dans le tableau sommaire. — Les chiffres ne représentent que des moyennes ; ils sont très-variables, surtout pour les diverses essences de bois.

Digitized by Google

NATURE DES COMBUSTIBLES.	CARBONE.	OXYGÈNE ET AZOTE.	HYDROGÈNE.	CENDRES.
Bois	44	43	6	7
Charbon de bois	88	5	2	5
Tourbe	57	32	6	5
Bois fossile	56	36	6	2
Lignite	70	19	6	5
Houille grasse et dure	89	4	5	2
Houille maréchale grasse	87	6	5	2
Houille maigre et sèche	76	16	6	2
Coke de bonne qualité	91	2,7	0,3	6
Coke de mauvaise qualité	85	2,7	0,3	12
Anthracite	90	4	2	4

§ 6. — Sels et terres.

Définitions. — La combinaison d'un acide avec un oxyde forme, ainsi que nous l'avons vu au commencement de ce chapitre, un sel. Nous aurons à nous occuper du carbonate de chaux ou calcaire, du sulfate de chaux ou plâtre, de l'azotate de potasse ou salpêtre, enfin des silicates, qui constituent les pierres dures et les terres. Nous terminerons cet aperçu rapide des sels en mentionnant les mélanges frigorifiques, qui jouent un rôle important dans l'industrie alimentaire.

Proposition I. — Le carbonate de chaux a autant de noms qu'il a de couleurs et d'usages différents : craie, calcaire, pierre à chaux, tuf, spath calcaire, marbre, albâtre, blanc d'Espagne, pierre lithographique.—Chauffée au rouge dans un récipient hermétiquement fermé, la craie, tout en gardant sa nature de carbonate de chaux, prend la forme du marbre. La fabrication du marbre artificiel, basée sur ce principe, pourra réussir un jour.

Le carbonate de chaux, ou le calcaire, est employé comme pierre de construction et n'a d'importance que sous le rapport des qualités physiques ; il en a été question dans le chapitre

Digitized by Google

consacré à la physique. Le carbonate de chaux calciné, ou la chaux vive, est employé dans les mortiers; il en sera question dans le dernier paragraphe de ce chapitre.

Les pierres calcaires forment l'une des deux divisions des pierres relativement à la composition chimique; l'autre comprend les pierres siliceuses; les pierres calcaires sont décomposées par la chaleur; les pierres siliceuses résistent à la chaleur.

PROPOSITION II. — L'acide sulfurique, une des sept combinaisons de l'oxygène avec le soufre, forme, avec l'oxyde de calcium, le sulfate de chaux hydraté, connu sous différents noms : *pierre à plâtre*, *sélénite*, pierres divisibles en lames minces et brillantes, et *albastrite* ou faux albâtre, pierre demi-transparente.

En séparant l'eau—par la chaleur—du sulfate de chaux, on obtient le sulfate anhydre ou le plâtre; dans cet état il est avide d'eau, et, dès qu'on en ajoute, il acquiert la dureté primitive. Cette opération, sur laquelle repose l'emploi du plâtre dans les constructions, s'appelle le *gâchage*. En se solidifiant par le gâchage le plâtre se transforme en une masse formée d'une infinité de petits cristaux.

On prépare le plâtre en plaçant la pierre à plâtre dans des fours et en la chauffant avec des branches sèches; la température ne dépasse pas 200 degrés. Le plâtre doit être conservé à l'abri de l'air; sa bonne qualité se reconnaît au volume d'eau nécessaire au gâchage; le plâtre qui peut en absorber le plus est toujours préféré. Si le plâtre est gâché avec de l'eau gommée ou gélatineuse il s'appelle *stuc*.

Dans le commerce de Paris, on distingue trois espèces de plâtres : 1° le plâtre *au panier* sert pour les aires de planchers, les crépis et les maçonneries; 2° le plâtre *au sas*, qui est passé au tamis de crins, sert pour les enduits et les moulures; 3° le plâtre *au tamis de soie* est employé pour les moulures peintes.

Quoique d'un emploi général comme mortier, le plâtre a l'inconvénient de se détériorer dans l'eau, de n'être pas durable, d'augmenter de volume en vieillissant et d'occasionner

Digitized by Google

des crevasses. Les ouvrages en plâtre démolis forment les plâtras d'où l'on extrait le salpêtre, quand ils proviennent d'endroits humides; s'ils sont secs, on les emploie à titre de pierres dans les maçonneries légères qui n'ont pas de charges à porter.

Il ne reste plus maintenant qu'à indiquer le résultat de la décomposition du sulfate de chaux; il produit, par le contact avec des matières organiques, en dissolution, du *sulfure de calcium*, lequel, par l'action de l'acide carbonique de l'air, donne naissance à un gaz délétère qui est l'acide sulfhydrique. Dans le sol, où pénètrent les eaux ménagères qui renferment des matières organiques, se forme ce gaz qui empeste les localités dès que le sol est remué.

PROPOSITION III. — L'acide azotique ou nitrique, combiné avec la potasse, forme l'azotate de potasse ou salpêtre, qui, mélangé avec le charbon et le soufre, donne la poudre, dont la composition varie, suivant les pays, de 70 parties en poids à 76 de nitre, de 9 à 16 de charbon ou de soufre, à raison de 100 parties en poids. La *poudre de mine* diffère de la poudre précédente, poudre à canon; elle se compose de nitre 62, charbon 18, et soufre 20 parties.

PROPOSITION IV. — Le silicium, corps simple, est difficile à préparer; il est obtenu sous trois formes : il est pulvérulent d'une couleur brune, il est graphitoïde, enfin il est cristallisé.—Uni à l'oxygène, il forme l'acide silicique ou la silice pure, qu'on rencontre dans la nature à l'état de *quartz* et de *cristal de roche*; mélangé avec des oxydes métalliques, il constitue le *silex* ou *pierre à feu*, le *grès*, le *tripoli*, la *pierre meulière*. — Unie à l'alumine, à la chaux, à la potasse, à la soude, à l'oxyde de fer, la silice forme des *silicates* indécomposables par la chaleur. — Ces silicates ont de nombreuses applications comme éléments principaux des terres, des argiles, des sables, des verres, des poteries, des briques et des mortiers; nous les envisagerons sous le point de vue de la construction et de l'industrie.

Digitized by Google

PROPOSITION V. — La composition du verre dans les différentes espèces peut être admise pour une partie en poids, ainsi qu'il suit :

Verre à bouteille : — Silice, 0,6; chaux, 0,3; potasse, soude, alumine, oxyde de fer et de manganèse, acide phosphorique, 0,1.

Verre à vitres : — Silice, 0,7; chaux, 0,2; soude et alumine, 0,1.

Verre de Bohême : — Silice, 0,7; chaux, 0,1; potasse, 0,2.

Cristal : — Silice, 0,6; plomb, 0,3; chaux et potasse, 0,1.

Pour colorer les verres on emploie les oxydes suivants :

Oxyde de cobalt (verre bleu saphir); bioxyde de cuivre (verre bleu de ciel); protoxyde de cuivre (verre rouge pourpre); oxyde de chrome (verre vert); chlorure d'argent (verre jaune); or, pourpre de cassius (verre rose); mélange d'oxydes de manganèse, de fer et de cobalt (verre noir); oxyde d'antimoine, phosphate de chaux ou acide arsénieux (émail blanc).

PROPOSITION VI. — Comme seconde application des silicates nous avons à parler des terres labourables et des matières qui entrent dans leur composition.

Le *sol arable*, labourable ou cultivable, comprend quatre espèces, suivant que les quatre corps qui le composent prédominent. Ces corps sont : le sable, l'argile, le calcaire et l'humus; de là le sol sablonneux ou terre légère, le sol argileux ou terre forte, le sol calcaire et le sol végétal ou terreau

Le *sable* est un mélange d'acide silicique, d'alumine et de sels calcaires; on en distingue autant d'espèces que de roches, dont il est le détritus; le sable calcaire, le sable siliceux ou quartzeux, granitique, le sable volcanique ou la pouzzolane. — C'est suivant la grosseur du grain qu'on appelle le sable : sable fin, sable gros, gravier, arène; le sable se présente au fond de l'eau : sable de mer ou sable de rivière, ou dans des bancs réguliers : sable de fouille ou de mine. — Le sable sert souvent dans les fondations sur terre; il est incompressible quand il est tassé. — On essaie le sable en le délayant dans un

Digitized by Google

verre d'eau ; l'argile et les matières étrangères se posent sur le sable dont la pureté peut être ainsi appréciée.

L'*argile* est un silicate d'alumine mélangé avec de l'oxyde de fer et souvent avec de la chaux. Elle sert, pétrie avec du sable, pour faire des briques, ou en général des ouvrages de poteries. — Dans ce but, on expose la terre argileuse à l'air pendant l'hiver ; au printemps on la trouve fendue et réduite souvent en poussière ; on la délaie dans de l'eau, on en fait une pâte qu'on moule, et qu'on laisse sécher et on obtient la *brique crue*, qui torréfiée donne la *brique cuite*. — Les tuiles, les tuyaux de conduite sont faits de la même manière, seulement on emploie une matière plus fine et un peu plus de soins.

L'*humus* ou le *terreau* est une substance composée de matières organiques en décomposition, provenant des engrais, ou des feuilles tombées des arbres.

Les *marnes* sont des silicates d'alumine mélangés avec du carbonate de chaux et de l'acide silicique, dans des proportions très-variables ; on emploie les marnes pour améliorer les terres.

Le *mica* est un silicate d'alumine combiné avec un oxyde de fer, il forme les paillettes brillantes qu'on remarque sur les pierres et sur les terres.

Une application importante des silicates est celle pour les mortiers ; mais avant d'aborder cette question, nous terminerons ce paragraphe, consacré aux sels, en citant la composition des mélanges frigorifiques, et les substances destinées à la conservation des bois.

PROPOSITION VII. — La dissolution des sels entraîne une absorption de la chaleur. Certains mélanges produisent par cette absorption une température très-basse ; ces mélanges dont voici le relevé, s'appellent mélanges frigorifiques ou réfrigérants.

Digitized by Google

Relevé des mélanges frigorifiques.

NUMÉROS d'ordre.	DÉSIGNATION DES MÉLANGES.	PROPORTIONS (parties en poids).	ABAISSEMENT du thermomètre (degrés centigrades).
1.	Eau (à 10 degrés au-dessus de zéro).....	16	22
	Azotate de potasse.....	5	
	Chlorhydrate d'ammoniaque.....	5	
2.	Eau (à 10 degrés au-dessus de zéro).....	1	25
	Azotate d'ammoniaque.....	1	
3.	Eau (à 10 degrés au-dessus de zéro).....	16	26
	Sulfate de soude...	5	
	Chlorhydrate d'ammoniaque.....	8	
4.	Eau (à 10 degrés au-dessus de zéro).....	1	29
	Azotate d'ammoniaque.....	1	
	Sous-carbonate de soude.....	1	
5.	Eau (à 10 degrés au-dessus de zéro).....	4	2
	Chlorure de potassium.....	50	
	Azotate de potasse (salpêtre).....	20	
	Chlorhydrate d'ammoniaque.....	32	
6.	Glace pilée ou neige.....	2	20
	Sel marin.....	1	
7.	Glace pilée ou neige.....	5	24
	Sel marin	2	
	Sel ammoniaque.....	1	
8.	Glace pilée ou neige.....	24	28
	Sel marin.....	10	
	Sel ammoniaque.....	5	
	Salpêtre.....	5	
9.	Sulfate de soude.....	3	28
	Acide nitrique étendu.....	2	
10.	Sulfate de soude.....	6	36
	Nitrate d'ammoniaque.....	5	
	Acide nitrique étendu.....	4	
11.	Sulfate de soude.....	8	26
	Acide chlorhydrique.....	5	
12.	Sulfate de soude.....	20	18
	Acide sulfurique.....	16	
13.	Phosphate de soude.....	9	39
	Acide nitrique étendu.....	4	

Digitized by Google

PROPOSITION VIII. — Le problème de la conservation des bois n'est pas encore résolu; il n'y a pas d'uniformité dans les procédés, l'essence des bois étant la même, et l'usage auquel ils sont destinés étant identiquement pareil. Cependant il paraît que la conservation au moyen de la pénétration par le sulfate de cuivre donne généralement de bons résultats. — Voici la nomenclature des substances qui ont été employées et avec lesquelles on fait encore des essais :

Carbonate de soude, de baryte et de potasse;

Sulfates de cuivre, de fer, de chaux, de zinc, de magnésie, de baryte, de potasse, de soude; deuto-chlorure de mercure; enfin huile et créosote.

Les modes de préparation se trouvent analysés dans mon livre sur la construction des chemins de fer.

§ 7. — Mortiers.

DÉFINITIONS. — Il y a deux espèces de mortiers (mélanges de chaux et de sable); ceux destinés à rester à l'air : mortiers ordinaires, ou mortiers à chaux grasse ou pure; le plâtre sert aussi de mortier ordinaire. — En second lieu, on distingue les mortiers destinés à être mis sous l'eau ou dans l'humidité : mortiers à chaux maigre, hydraulique ou impure, provenant d'une pierre calcaire qui renferme de l'argile. Cette chaux impure est fabriquée aussi avec de la chaux pure, à laquelle on ajoute des silicates, comme nous le verrons à la fabrication des ciments.

L'addition du sable à la chaux dans les mortiers, et du gravier dans les bétons a pour but de diminuer la quantité de chaux, de prévenir les gerçures, et d'augmenter la solidité de la masse; il faut donc que le sable soit débarrassé de toutes les matières animales ou végétales.

PROPOSITION I. — La pierre à chaux et les éclats de pierre qui restent dans les carrières calcaires après le dégrossissement des pierres de taille servent pour la fabrication de la

Digitized by Google

chaux d'après divers procédés : — 1° on cuit la chaux en *tas* en formant un cône composé de pierres à chaux et de fragments de houille ; — 2° on jette le calcaire dans un *four continu* ou *coulant*, pêle-mêle avec le combustible ; — 3° dans le *four intermittent* le combustible est séparé du calcaire ; on produit avec du bois, une flamme qui circule autour des pierres ; on compte 1 mètre de bois pour 1 mètre de chaux.

PROPOSITION II. — Il existe plusieurs méthodes pour l'extinction de la chaux : — 1° On éteint la chaux par *fusion*, quand on la place dans un bassin et quand on y jette de l'eau ; — 2° on éteint la chaux par *immersion*, en mettant la chaux vive, concassée en petits morceaux dans un panier qu'on plonge dans l'eau pendant quelques secondes, la chaux siffle, éclate, répand des vapeurs et tombe en une poudre qui, mise à l'abri de l'humidité, peut être gardée pendant longtemps et être expédiée dans des sacs ; — 3° on éteint la chaux par *aspersion* en la plaçant dans un bassin fait avec du sable, en y jetant de l'eau et en la recouvrant ensuite pour ne l'agiter qu'au moment de l'emploi ; — 4° enfin l'*extinction spontanée* consiste à exposer la chaux à l'air, dont elle absorbe l'humidité et une faible quantité d'acide carbonique, ce qui facilite le durcissement.

Quel que soit le procédé, l'eau doit toujours être pure ; l'eau de mer surtout ne doit pas être employée, car elle produit des efflorescences sur les maçonneries ; il faut jeter l'eau avec modération pour ne pas noyer la chaux, qui perdrait ses qualités. La bonne chaux fuse complétement dans l'eau ; si elle est trop cuite (*brûlée*) elle ne s'éteint que très-lentement ; la chaux vitrifiée est à rebuter.

(OBSERVATION. — Si à la chaux éteinte on ajoute une grande quantité d'eau, on forme le *lait de chaux*. La chaux se dépose et est recouverte d'une eau limpide : *eau de chaux*, ou chaux en dissolution. Exposée à l'air, cette eau se couvre d'une pellicule qui, une fois enlevée, est remplacée par une autre pellicule, qui est du carbonate de chaux.)

PROPOSITION III. — On distingue quatre espèces de chaux

Digitized by Google

maigre ou hydraulique : 1° chaux faiblement hydraulique à 10 0/0 d'argile et qui durcit au bout de vingt jours; — 2° chaux hydraulique, contenant 15 0/0 d'argile, et durcissant au bout de huit jours ; — 3° chaux éminemment hydraulique, renfermant 25 0/0 d'argile, elle durcit en quatre jours ; — 4° ciment romain à 40 0/0 d'argile, durcissant au bout d'une heure.

Voici l'analyse des diverses espèces de calcaires hydrauliques pour 100 parties en poids :

Chaux hydraulique : 83 carbonate de chaux, 2 carbonate de magnésie, 15 argile et silice.

Chaux très-hydraulique : 72 carbonate de chaux, 5 carbonate de magnésie, 23 argile et silice.

Chaux éminemment hydraulique et ciment naturel de Rome : 58 carbonate de chaux, 4 carbonate de magnésie, 6 carbonate de fer, 25 à 40 argile et silice, 7 eau.

(OBSERVATION. — Ces limites sont très-variables, car le mode de fabrication, le degré de cuisson de la chaux, et la nature du combustible y jouent un grand rôle. — On essaye les diverses espèces de chaux en plaçant celles non hydrauliques ou grasses, formées en pains, à l'air; celles hydrauliques, ou maigres, dans des vases remplis d'eau et on observe leur durcissement par comparaison.)

PROPOSITION IV. — Les pierres à chaux hydraulique à base d'argile se trouvent dans la nature; elles forment des silicates de chaux par la cuisson ; mais elles sont plus rares que la chaux grasse et l'argile. Avec ces deux dernières substances on peut toujours former des chaux hydrauliques en produisant des silicates par la cuisson d'une pâte faite avec un carbonate (de la craie délayée), 4 parties, et avec de l'argile, 1 partie.

On forme également des silicates par la voie humide, en mettant sous l'eau un mélange de chaux éteinte et de pouzzolanes réduites en poudre.

Il y a deux espèces de pouzzolanes :

Les *pouzzolanes naturelles*, ou les *laves*, ou le *trass*, qui renferment des mélanges, calcinés par le feu des volcans, d'argile, de chaux, de potasse, de soude et de magnésie.

Digitized by Google

Les *pouzzolanes artificielles* sont des argiles cuites et pulvérisées, telles que des vases, de la poterie, des briques, des tuiles, des scories de forges, des cendres de houille, des schistes. — Le degré de chaleur nécessaire pour opérer la cuisson dépend de la nature de ces matières.

Aucune pouzzolane, ni naturelle ni artificielle, ne constitue un ciment ou une chaux hydraulique ; mais, mélangée avec de la chaux grasse, elle produit l'hydraulicité.

PROPOSITION V. — La théorie du durcissement de la chaux et des mortiers peut être résumée ainsi qu'il suit : 1° la chaux vive ou l'oxyde de calcium s'empare de l'eau d'extinction et se transforme en hydrate de chaux ; généralement on dit chaux au lieu d'hydrate de chaux ; — 2° l'hydrate de chaux pure, ou grasse, ou aérienne, se solidifie à l'extérieur par l'absorption de l'acide carbonique de l'air et se transforme en carbonate de chaux. Dans l'intérieur cette chaux reste à l'état pur : on en trouve dans les maçonneries romaines ; sous l'eau elle reste toujours molle ; — 3° le durcissement de la chaux grasse peut aussi être attribué à une action purement mécanique : il est dû à la compression de la pâte de chaux qui sèche ; — 4° dans la chaux hydraulique, qui provient d'un calcaire renfermant des silicates, il se produit sous l'eau des hydrates très-durs de silicates de chaux et d'alumine ou de magnésie.

PROPOSITION VI. — Il existe une dernière espèce de mortier, appelée *mastics*, dont il y a plusieurs espèces :

Mastic de Dhil. (Brique pilée, litharge, huile de lin ; pour les pierres.) — *Mastic diamant.* (Colle de poisson, alcool, résine ; pour le verre.) — *Mastic au blanc d'œuf.* (Blanc d'œuf et chaux en poudre ; pour le marbre.) — *Mastic de fromage.* (Fromage blanc et chaux ; pour les pierres sous l'eau.) — *Mastic ciment.* (Fromage blanc et carbonate de chaux ; pour les pierres sous l'eau.) — *Mastic de fer.* (Limaille de fer, sel ammoniaque ou soufre ; pour les pierres avec les métaux.)

Digitized by Google

§ 8. — Propriétés générales des métaux.

Définitions. — Les métaux qui ont de l'importance, au point de vue des constructions, sont : le fer, le cuivre, le mercure, le plomb, le platine et le zinc. Nous parlons ici des métaux à l'état de corps simple ; d'autres, comme le calcium, ne servent qu'à l'état d'oxyde (chaux). — Les métaux qui se trouvent à l'état pur ou de corps simple dans la nature, s'appellent métaux à *l'état natif*. Si le métal est impur on le nomme *minerai*, la matière minérale est la *gangue*.

Les propriétés générales des métaux dont nous avons à nous occuper sont : la faculté qui leur est propre de conduire la chaleur et de former des alliages.

Dans les propositions suivantes, nous examinerons ces deux propriétés.

Proposition I. — Les métaux peuvent être classés, quant à la conductibilité de la chaleur, ainsi :

Or, 100 ; — argent, 97 ; — cuivre, 90 ; — fer, 37 ; — zinc, 36 ; — étain, 30 ; — plomb, 18.

L'emploi de la faculté conductrice est limité par le prix de revient des récipients qui doivent transmettre la chaleur, ainsi que par la résistance du métal à la chaleur.

Proposition II. — Les mélanges de plusieurs métaux s'appellent *alliages;* ils portent le nom d'*amalgames*, quand le mercure en fait partie ; ils servent principalement dans les pièces de machines. — La composition des principaux alliages peut être déterminée ainsi qu'il suit :

Digitized by Google

NATURE DES ALLIAGES d'après l'ordre alphabétique.	PROPORTION POUR CENT.				
	CUIVRE.	ÉTAIN.	ZINC.	PLOMB.	AUTRES MÉTAUX.
1. Airain	60	15	25	»	»
2. Alliage blanc (étamage de cuivre)	»	80	»	»	20 fer.
3. Bronze	90	10	»	»	»
4. Caractères d'imprimerie	»	»	»	80	20 antimoine.
	»	90	»	»	10 fer.
5. Chrysocale	80	»	20	»	»
6. Laiton (cuivre jaune)	64	32	3	1	»
7. Laiton pour tréfilerie	64	2	33	1	»
8. Médailles	94	4	2	»	»
9. Métal de canon	80	20	»	»	»
10. Métal de cloches	80	10	6	4	»
11. Miroirs de télescopes	66	34	»	»	»
12. Rondelles fusibles	»	33	»	33	30 bismuth.
13. Soudure pour fer-blanc	»	50	»	50	»
14. Soudure pour plomb	»	34	»	66	»

§ 9. — Fonte.

DÉFINITIONS. — La fonte est un composé de fer et de carbone : elle provient du minerai de fer qu'on trouve dans la nature à l'état d'oxyde. La fonte sert comme métal et comme minerai, d'où l'on extrait à leur tour le fer et l'acier. — La fonte se détériore dans l'eau de mer. Pour empêcher l'oxydation, il faut la couvrir avec du minium ou du goudron minéral.

PROPOSITION I. — Quand le minerai de fer n'est pas riche en métal, sa réduction a lieu dans les hauts fourneaux. On sépare la *gangue* par un fondant, qui est le carbonate de chaux si la *gangue* est argileuse ; si elle est calcaire, on prend comme fondant une matière siliceuse. L'oxygène est ensuite enlevé par

Digitized by Google

le charbon. Le métal obtenu est la fonte qui est, en définitive, un mélange de fer, de carbone et de matières étrangères.

PROPOSITION II. — Les proportions des éléments de la fonte varient suivant la nature du minerai et le mode de fabrication ; la composition moyenne peut en être déterminée ainsi pour cent parties en poids :

Carbone, 3 ; — fer, 94 ; — silicium, 0,3 ; — phosphore, 0,2 ; — manganèse, 2,5.

PROPOSITION III. — Relativement aux qualités physiques, on distingue trois espèces de fonte : 1° *La fonte blanche*, qui possède un éclat métallique ; elle est dure, elle casse sous le marteau, on ne peut pas la limer ; elle se produit dès qu'on refroidit la fonte grise brusquement, ou dès que le minerai se trouve en excès du charbon ; on en fait généralement de l'acier : elle sert aussi pour le moulage. — 2° *La fonte grise* est poreuse, sa cassure est grenue : elle se laisse briser et forer, mais elle résiste moins que la fonte blanche ; elle se produit dans la marche régulière du fourneau ; elle sert pour l'affinage. — 3° *La fonte noire* prend l'empreinte du marteau ; elle se casse facilement ; elle présente de gros grains avec du graphite ; elle est la plus fusible des trois ; elle se produit avec un excès de charbon ; on l'emploie pour les fusions.

On distingue aussi la fonte de première, de deuxième ou de troisième fusion, suivant qu'elle a été prise directement après la conversion du minerai, ou qu'elle a été refondue.

PROPOSITION IV. — Les *laitiers* ou *scories*, sont le résidu de la matière terreuse du minerai ou de la gangue ; ils se forment par la combinaison de la silice avec une certaine quantité de protoxyde de fer, et constituent un silicate de fer fusible.

La composition moyenne des laitiers ou scories est pour cent parties en poids :

Chaux, 43 ; — silice, 33 ; — magnésie, 19 ; — alumine, 1 ; — fer, 1 ; — manganèse, 1 ; — soufre, 1 ; — phosphore et pertes pendant l'analyse, 1.

Digitized by Google

§ 10. — Fer.

DÉFINITIONS. — Pour arriver à la production du fer au moyen de la fonte, il faut séparer le carbone de la fonte ; ce carbone était resté quand on avait ajouté du combustible au minerai pour le désoxyder ; maintenant il faut décarburer cette fonte et lui enlever en même temps les matières étrangères. — Le procédé qui a pour but de convertir la fonte en fer, est l'*affinage ;* les foyers dans lesquels cette opération se fait, sont les *feux d'affinerie.* — Quand on emploie le bois comme combustible, on agit d'après le *procédé comtois ;* quand on se sert de la houille, c'est le *procédé anglais,* d'après lequel les foyers s'appellent *fours à puddler.*

Ce qui vient d'être dit s'applique à la production du fer au moyen de la fonte ; mais si le minerai est riche en métal, on procède à son extraction directe comme nous le verrons à la fin de ce paragraphe.

PROPOSITION I. — Dans la *méthode comtoise,* on met la fonte en contact avec des scories et avec de l'oxyde de fer ; l'oxyde cède son oxygène au carbone de la fonte et se convertit en fer ; en même temps, il décarbure la fonte. Le vent de la soufflerie oxyde le silicium qui rentre dans les scories. Le métal ainsi préparé en *loupes,* est *cinglé* sous le marteau qui expulse les scories.

PROPOSITION II. — Dans le *procédé anglais,* on place la fonte dans un creuset avec du coke ; coulée ensuite dans des fosses et refroidie avec de l'eau, elle donne une fonte très-cassante appelée *fine-métal.* La fonte, débarrassée en grande partie des matières étrangères, est placée dans un four à *puddler* avec des scories et de l'oxyde de fer ; les loupes sont ensuite portées sous les marteaux ou sous les *cylindres dégrossisseurs* des laminoirs ; dans cette opération, le fer s'épure et perd les scories. On le chauffe, après cette opération, dans des fours à réchauffer, et on le reporte sous les cylindres : cette opération s'appelle le *corroyage,* et le fer qui en résulte : fer *corroyé.*

Digitized by Google

PROPOSITION III. — Quand le minerai de fer est riche en métal, on emploie le *procédé Catalan;* on fond le minerai dans un creuset et on le désoxyde en le mélangeant avec du charbon ; l'acide carbonique qui s'est formé est enlevé par l'air de la soufflerie, et on obtient immédiatement du fer. Sur 100 parties de minerai, on retire 30 parties de fer en poids. — Ces masses de fer une fois rassemblées dans le creuset forment une loupe qui est portée sous le marteau et convertie en fer forgé, lequel généralement est nerveux et de bonne qualité.

PROPOSITION IV. — Il reste maintenant à signaler les défauts du fer qu'il faut rechercher avec soin pour ne pas s'exposer à des malfaçons et à des accidents ; ces défauts sont : les *cendrures*, matières étrangères interposées dans le métal ; les *criques*, fentes transversales ; les *doublures*, manque de prise ou lacunes dans la soudure ; les *pailles*, petites doublures qui ont peu d'espace et sont à la surface ; les *travers*, solutions de continuité dans la contexture.

§ 11. — Aciers.

DÉFINITIONS. — L'acier, à cause de son carbone, tient le milieu entre la fonte et le fer ; chauffé au rouge et refroidi brusquement, il devient très-dur et cassant : il est *trempé*. La manière de *tremper* ou de faire la *trempe de l'acier*, soit dans de l'eau, ou dans du mercure, ou dans des corps gras, constituent le travail et le succès du fabricant. L'acier de bonne qualité doit pouvoir être trempé à une faible chaleur et devenir très-dur ; il doit être homogène, à grain fin et égal ; il doit résister au choc, et ne perdre sa dureté que par un recuit très-intense.

PROPOSITION I. — Quand l'acier est trempé très-dur, on le recuit pour adoucir la trempe, qui se trouve d'autant plus adoucie que la température est plus élevée. Pour juger du degré de la trempe, on s'en réfère à la teinte que prend l'a-

Digitized by Google

cier, laquelle est le résultat de la formation d'une couche très-mince d'oxyde de fer ; voici les teintes :

Jaune, 220 degrés ; orange, 245 degrés ; brun, 255 degrés ; pourpre, 265 degrés ; bleu, 285 degrés ; indigo, 300 degrés ; vert, 320 degrés.

PROPOSITION II. — On distingue quatre espèces d'acier : 1° L'*acier naturel* ou *acier de forge*, qu'on obtient en enlevant à la fonte une certaine quantité de carbone, ou quand la décarburation n'est pas complète ; il sert pour les instruments aratoires ; 2° l'*acier de cémentation* se fabrique en rendant du carbone au fer ; on arrive à ce résultat en chauffant du charbon et du fer dans des caisses hermétiquement fermées. Cet acier est couvert de petites ampoules ; de là le nom d'*acier de poule*. A ce charbon, on ajoute souvent de la suie ou du sel, et on forme ainsi le cément ; 3° l'*acier de fusion*, ou *acier fondu*, est le plus estimé ; il est produit en faisant fondre dans des creusets des morceaux d'acier de cémentation qui, par son mode de fabrication, n'a pas donné un produit homogène ; 4° l'*acier damassé* enfin, ou l'*acier Wootz*, ou *acier indien*, est susceptible de se moirer quand il est décapé avec des acides étendus d'eau. On le fabrique en chauffant du fer de bonne qualité avec du coke ou du noir de fumée, ou en laissant refroidir lentement un acier riche en carbone.

PROPOSITION III. — La composition de l'acier français de première qualité est la suivante pour cent parties en poids :

Fer, 99,24 ; carbone, 0,65 ; silicium, 0,04 ; phosphore, 0,07.

---

§ 12. — Métaux secondaires dans les constructions.

DÉFINITIONS. — Les métaux principaux dans les constructions sont, ainsi que nous l'avons déjà vu, le fer, la fonte, l'acier. Il reste à signaler le zinc, le cuivre, le plomb, dont on fait également usage dans les travaux et dans les machines.

Digitized by Google

Le *zinc* se trouve dans la nature, sous forme de carbonate de zinc ou *calamine*, et comme sulfure ou *blende*. En calcinant ces substances, on obtient l'oxyde de zinc, qu'on désoxyde en le chauffant avec du charbon. — L'oxydation superficielle du zinc empêche que l'oxydation ne fasse des progrès; cet oxyde adhère fortement au métal; c'est une des raisons pour lesquelles on l'emploie dans les couvertures. Il entre pour un quart dans la composition du laiton ou cuivre jaune.

Le *cuivre* est également uni au soufre, comme pyrite cuivreuse, laquelle est mêlée au sulfure de fer. Ce minerai, après le grillage, fournit les mattes qui sont raffinées. Ce raffinage s'exécute avec un peu de plomb, qui s'oxyde et forme des scories avec les matières étrangères. — La prompte oxydation du fer a déterminé l'emploi du cuivre, surtout pour les ouvrages en mer. A son emploi général s'opposera toujours son prix élevé, sa moindre résistance, et son poids spécifique plus considérable.

Le *plomb* est uni au soufre; ce minerai s'appelle *galène*; on obtient ce métal comme le zinc. Le plomb sert pour les scellements, pour les tuyaux de conduites; employé dans les couvertures, il est laminé à une épaisseur d'un millimètre.

Digitized by Google

CHAPITRE IV.

MÉCANIQUE.

§ 1. — Principes.

DÉFINITIONS. — La *mécanique* comprend deux parties : la *statique*, qui résume les lois de l'équilibre des corps ; la *dynamique*, qui considère les corps en mouvement. — La mécanique se rapporte aux corps solides, l'hydraulique aux corps fluides. Comme nous le verrons plus loin, l'*hydraulique* comprend également deux sections : l'*hydrostatique*, qui s'occupe de l'équilibre des fluides, et l'*hydrodynamique*, qui s'occupe de leur mouvement.

Dans ce chapitre, le premier paragraphe sera consacré à l'examen des lois principales qui régissent l'action des forces sur les corps en équilibre ou en mouvement. Dans les autres paragraphes, nous examinerons les machines simples, le travail mécanique et le frottement.

PROPOSITION I. — Les conditions de l'équilibre des forces sont déterminées par les principes suivants :

1° L'*équilibre* est l'état des corps dans lesquels plusieurs forces se neutralisent mutuellement. Si les corps ne se déplacent pas, cet équilibre se nomme *repos*.

2° Deux *forces égales et opposées* se font toujours équilibre; les *forces inégales* sont entre elles comme les vitesses qu'elles impriment dans un même temps à un même corps.

3° L'équilibre est *stable* si une force infiniment petite ne fait pas sortir le corps de sa position, ou si le centre de gravité tombe dans la base.

4° L'équilibre est *instable* si une force infiniment petite

Digitized by Google

fait sortir le corps de sa position, par exemple un cône placé sur le sommet, ou, en d'autres termes, si le centre de gravité tombe sur l'extrémité de la base. Cette base peut être réduite à un point ou à une ligne.

5° Deux forces, ou *composantes*, appliquées à un corps solide, ont une *résultante*, laquelle est la force unique qui les remplace; elles sont ou parallèles ou appliquées à un même point.

6° Deux forces *parallèles* ont une résultante égale à leur somme et parallèle aux composantes.

7° Deux forces, appliquées *à un point* dans deux directions, peuvent se réduire à une seule résultante qui est représentée, en grandeur et en direction, par la diagonale d'un parallélogramme dont les côtés représentent les forces. Cet énoncé s'appelle le théorème du *parallélogramme des forces*. — Il en résulte que, si trois forces sont en équilibre, elles se trouvent dans un même plan.

8° Trois forces, appliquées *à un point* dans trois directions, peuvent se réduire à une seule résultante, représentée en grandeur et en direction par la diagonale d'un parallélipipède rectangle, dont les arêtes représentent les trois forces. Cet énoncé s'appelle le théorème du *parallélipipède des forces*. — D'après ce principe, il est facile de réduire un nombre indéterminé de forces à une seule résultante. On se rappelle que le carré de la diagonale d'un parallélipipède rectangle est égal à la somme des carrés des trois arêtes contiguës.

PROPOSITION II. — **Le point d'application de la force, ou *gravité*, ou *pesanteur*, qui attire un corps vers le centre de la terre est le *centre de gravité*.** On détermine le centre de gravité en suspendant un corps à un fil; le centre passe par ce fil, qu'on suppose prolongé dans le corps. On répète cette opération par un autre côté du corps; le centre de gravité se trouve également sur ce deuxième fil, qui, prolongé dans le corps, coupe le premier fil. Le point d'intersection est le centre de gravité.

Dans les corps homogènes et réguliers, de même que dans les surfaces, le centre de figure est le centre de gravité. —

Digitized by Google

Le centre de gravité des corps irréguliers et des corps formés de la réunion de plusieurs autres corps, par exemple diverses boules attachées à une tringle, se trouve en représentant le poids de chaque corps par une force composante. Toutes ces composantes réunies donnent une résultante, dont le point d'application est, — répétons-le, — le centre de gravité.

PROPOSITION III. — Si un corps repose sur une surface, il y exerce une *pression;* s'il n'y a qu'un point de contact, la pression est le poids du corps; s'il repose sur deux appuis, la perpendiculaire, passant par le centre de gravité, rencontre la ligne qui joint ces deux points. Cette perpendiculaire représente le poids total: elle est la résultante des deux autres forces ou pressions sur ces deux points, dont on connaît la distance. La solution est donc facile à trouver, comme pour le levier. — Il en est de même d'un corps qui repose sur trois points (trépied). Le centre de gravité de ce trépied avec le poids passe par le centre du triangle, formé par les trois points d'appui; on décompose la force ou le poids agissant au centre de gravité en deux autres forces, dont la première est au sommet du triangle, l'autre sur la base. Celle sur la base se décompose à son tour. On obtient ainsi trois forces, qui sont les trois pressions qu'il s'agissait de trouver. — Il n'en est plus de même si un corps s'appuie sur plus de trois points; le problème est alors indéterminé, et ne peut plus être résolu.

Après avoir examiné l'équilibre des corps en repos, examinons l'équilibre des corps en mouvement.

PROPOSITION IV. — Les *conditions du mouvement* des corps peuvent être déterminées par les définitions et les principes suivants :

1° L'*inertie* est la propriété de la matière de ne se mouvoir que par la force. La *force* est la faculté de mettre la matière en mouvement. Faire mouvoir les corps sans leur imprimer un mouvement, sans leur appliquer une force, ou leur faire perdre, en un mot, leur inertie, s'appelle *absurdité mécanique* ou *la recherche du mouvement perpétuel, vulgo perpetuum mobile,* et en médecine, *maladie d'esprit.* Nous ne nous occu-

Digitized by Google

pons ici que de définir des mots; les démonstrations viendront en temps et lieu.

2° Le *mouvement* est *uniforme* quand les espaces parcourus dans des temps égaux sont égaux. — Le *mouvement* est *périodique-uniforme* quand cette uniformité n'a lieu que pour certains espaces parcourus; un de ces espaces est la *période*, et le temps employé pour le parcourir est la *durée* de la période. — Le *mouvement* est *varié* lorsque les espaces parcourus dans des temps égaux sont inégaux, ou, en d'autres termes, quand la vitesse n'est pas constante. — Le mouvement est *uniformément varié* toutes les fois que la vitesse du mobile croît ou décroît de quantités égales dans des temps égaux. Dans le premier cas, le mouvement est *uniformément accéléré;* dans le second cas, il est *uniformément retardé.*

3° L'*espace parcouru* dans l'unité de temps est la *vitesse ;* la relation est : $e = vt$; d'où $v = e/t$; d'où $t = e/v$.

(e est l'espace; v la vitesse; t la durée du mouvement; il résulte de cette équation qu'étant données deux de ces trois valeurs, on trouve la troisième.)

4° La *vitesse à mouvement varié* est difficile à apprécier, parce qu'elle change à chaque instant; mais on peut, pour la théorie, la considérer comme constante dans un laps de temps infiniment petit, et pour la pratique dans un laps de temps très-petit. — Pour déterminer graphiquement cette vitesse à un moment donné, on marque sur une ligne droite des points également espacés (abscisses), qui représentent le temps; on y élève des perpendiculaires (ordonnées), sur lesquelles on porte les espaces parcourus respectifs; les extrémités réunies de ces ordonnées forment une courbe, qui représente la vitesse.

5° La *vitesse angulaire* est la vitesse d'un point distant de l'axe de rotation à une longueur égale à l'unité; cette vitesse étant donnée, on obtient la vitesse absolue, en multipliant la vitesse angulaire par la distance à l'axe du point que l'on considère.

6° Les vitesses communiquées à un même corps par deux forces qui agissent sur ce corps exactement dans les mêmes circonstances sont proportionnelles aux grandeurs de ces

Digitized by Google

forces. — Ces forces sont entre elles comme les masses auxquelles elles impriment dans le même temps des vitesses égales. — Il en résulte que, si des forces agissent dans le même sens, elles s'ajoutent, et que les vitesses s'ajoutent également. Il en résulte encore que, si ces forces agissent en sens directement opposé, elles se retranchent l'une de l'autre, de même encore les vitesses; ce qui veut dire, en d'autres termes, que, si les forces sont opposées, il y a *choc*, et que l'*action* est toujours égale à la *réaction*.

7° Ce qui a été dit au sujet du parallélogramme et du parallélipipède des forces s'applique également aux vitesses. Si les côtés d'un parallélogramme et si les trois arêtes d'un parallélipipède représentent les vitesses, les diagonales représenteront les résultantes. Ces théorèmes portent le nom de *théorèmes du parallélogramme et du parallélipipède des vitesses*.

8° La dernière définition comprend celle des corps par rapport à la vitesse. La *quantité de mouvement* ou le *moment dynamique* est le produit de la masse du corps par sa vitesse. — La *force vive* d'un corps est le produit de sa masse par le carré de la vitesse. — Le *moment d'inertie* est le produit de sa masse par le carré de sa distance à l'axe de rotation. — Enfin, le *moment d'une force* est le produit de cette force par la distance de son point d'application.

PROPOSITION V. — Les conditions de la *chute* des corps peuvent être déterminées par l'énoncé suivant :

1° L'action de la pesanteur sur un corps est le *poids*. Plus on s'éloigne du centre de la terre, plus cette force est intense.

2° L'augmentation progressive de cette force attractive ou l'*accélération de la vitesse* par seconde est de 9^m81. Cette quantité est toujours représentée par la lettre g.

3° Pendant leur chute, les corps éprouvent la *résistance de l'air;* dans la pratique on néglige cette résistance : c'est comme si ces corps tombaient dans le vide. En reprenant les mêmes signes ci-dessus (PROPOSITION IV), on a $v = gt$; d'après cela, un corps tombant pendant 10 secondes aura une vitesse $= 10 \times g = 10 \times 9{,}81 = 98^m10$. — Introduisons dans les

Digitized by Google

formules un nouvel élément : la hauteur de chute (h), et nous aurons la vitesse, le temps, la hauteur en fonction l'un de l'autre : $h = 1/2\ gt^2$; $t = \sqrt{2h/g}$; $v = \sqrt{2gh}$.

4° La *vitesse acquise* à un moment quelconque par un corps qui tombe librement sous l'action de la pesanteur est proportionnelle au temps écoulé depuis le commencement de la chute.

5° Dans le mouvement d'un corps qui tombe librement, la pesanteur agit toujours de la même manière, quelle que soit la vitesse dont le corps est animé. Il est entendu que la vitesse est l'espace parcouru dans une seconde, qui est généralement l'unité de temps. La pesanteur produit l'accélération ; le mouvement dans ce cas est *uniformément accéléré.*

6° Un corps lancé en dehors de la verticale dans l'espace est sollicité par la pesanteur à descendre vers la terre ; la ligne qu'il parcourt, ou sa *trajectoire*, est une *parabole.*

PROPOSITION VI. — Le mouvement circulaire produit la *force centrifuge* qui tend à écarter les corps du centre de rotation, ce qui provient de ce que le corps cherche à chaque instant à se mouvoir en ligne droite, suivant la direction du mouvement qu'il avait dans l'instant précédent. — La force centrifuge est proportionnelle au carré de la vitesse du corps et en raison inverse du rayon du cercle qu'il décrit ; elle est $= \frac{pv^2}{gr}$

(*p* est le poids du corps, *v* la vitesse en mètres par seconde, *r* la distance du centre de mouvement au centre du corps.)

On se sert de cette force, non-seulement dans les exercices d'équilibre, mais encore dans l'industrie ; les machines à force centrifuge pour sécher le linge en sont un exemple : on fait tourner rapidement les tissus dans un tambour qui les retient, mais l'eau seule s'échappe par les petits trous dont la couverture est percée. Le *régulateur à force centrifuge*, qu'on nomme aussi *pendule conique*, est un exemple plus connu de l'application de cette force. Ce régulateur se compose de quatre tiges articulaires dont deux portent des boules. La

Digitized by Google

hauteur de ce pendule est $h = g/v^2$; v est la vitesse angulaire de rotation.

§ 2. — Machines simples.

DÉFINITIONS. — Le levier et le plan incliné sont nommés : *machines simples*, parce qu'ils composent toutes les autres machines. — Il n'est question ici que des machines motrices, qui ont toutes pour but de transmettre ou de transformer le mouvement; de le transmettre, chaque fois que le moteur est éloigné de l'atelier; de le transformer, chaque fois que le travail doit s'exécuter aux dépens de la vitesse et au profit de la force, ou *vice versâ;* et toujours en vertu du grand principe mécanique : ce qu'on gagne en force ou en vitesse, on le perd en vitesse ou en force.

Le levier se présente sous la forme de balances, de poulies, de tours, de roues dentées, de grues, etc. — Le plan incliné est la base des presses à coins, des haquets, des vis, etc. — Le mouvement d'un corps sur un plan incliné donne les éléments du pendule. — Nous examinerons ces diverses applications du levier et du plan incliné, après que nous en aurons établi le principe.

PROPOSITION I. — Le *levier* comprend une barre inflexible aux extrémités de laquelle agissent des forces qui la font tourner sur un point qui s'appelle *point d'appui*, et qui divise cette barre en deux parties, nommées les *bras du levier*, lesquels sont inversement proportionnels aux grandeurs de ces forces. On peut faire abstraction du poids du levier, si le centre de gravité coïncide avec le point d'appui.

Le principe du levier est dû à Archimède. Il est facile à traduire en langage algébrique : soit p la force ou *puissance* qui agit sur le bras du levier a; soit q la force ou *résistance* qui agit sur le bras du levier b, on a la proportion :

$$p : q = b : a; \quad \text{d'où } p = q\ b/a$$

Digitized by Google

COROLLAIRE I. — Le moment d'une force est, ainsi que nous l'avons déjà vu, le produit de cette force par la distance de son point d'application; il résulte de cette définition que plusieurs forces appliquées à un levier sont en équilibre, si la somme des moments des forces qui tendent à faire tourner le levier dans un sens est égale à la somme de celles qui tendent à le faire tourner en sens contraire.

COROLLAIRE II. — Relativement au point d'application de la puissance, on distingue trois genres de leviers : — dans le levier du premier genre, le point d'appui est situé entre la puissance et la résistance; cette disposition est tantôt favorable, tantôt défavorable à la puissance. — Dans le levier du deuxième genre, la résistance est placée entre la puissance et le point d'appui; cette disposition est toujours favorable à la puissance. — Enfin, dans le levier du troisième genre, la puissance est placée entre la résistance et le point d'appui; cette disposition est toujours défavorable à la puissance.

Pour bien se rendre compte de ce raisonnement il suffit de représenter graphiquement ces dispositions. — On verra, en même temps, que cette règle s'applique inversement à la vitesse; le levier de premier genre est tantôt favorable, tantôt défavorable à la vitesse; le levier de deuxième genre est toujours défavorable à la vitesse, et le levier de troisième genre est toujours favorable à la vitesse. On voit donc de nouveau par là, que ce que l'on gagne en force, on le perd en vitesse.

PROPOSITION II. — Une *balance* correcte doit remplir les conditions suivantes : le *fléau* doit être partagé en deux parties égales; il doit être horizontal; pour s'assurer de la première condition, on change de plateau les poids qui se font équilibre. Au moyen de la *double pesée* on peut se servir d'une balance inexacte; il s'agit de mettre le corps à peser dans un plateau et de l'équilibrer au moyen d'un autre corps, d'un vase dans lequel on verse de l'eau ou des grains de plomb, du sable; on sort ensuite le corps à peser pour le

Digitized by Google

remplacer par des poids marqués, qui produisent le même effet.

PROPOSITION III. — Si la chape *d'une poulie* est attachée à un point fixe, la force est égale au fardeau ;—si la poulie roule sur la corde, la force de traction est égale à la moitié de la charge, sous la condition que les cordes soient perpendiculaires ; — si les cordes sont inclinées, la force est la composante d'un parallélogramme des forces, dont la diagonale est le fardeau ; — si la corde est horizontale, les forces sont infinies, ou, en d'autres termes, aucune force n'est capable de tirer un fil horizontalement. Cela se comprend : ce fil a un certain poids ; ce poids agit sur le centre de gravité, et aucune force horizontale ne peut l'annuler.

Plusieurs poulies réunies forment la machine appelée *moufle*. Nous venons de voir qu'une poulie qui roule sur sa corde exige pour l'équilibre une force égale à la moitié du fardeau. Si le moufle comprend quatre poulies, la force sera la demi-force divisée par quatre ou un huitième. Ainsi, en augmentant le nombre des poulies on peut, avec une force minime, soulever un poids considérable.

PROPOSITION IV. — Pour exercer un grand effet sur un corps on l'attache à une corde qu'on enroule sur un cylindre appelé *tour* ou *treuil;* on tourne ce cylindre avec des leviers ; ce cylindre est horizontal ; — quand il est vertical, on le nomme *cabestan*. — La *chèvre* est un treuil enchassé dans un montant, au haut duquel est fixée une poulie par laquelle passe la corde ; la chèvre sert pour redresser des charpentes.

La relation d'équilibre représente le poids multiplié par le rayon du cylindre, ou la force multipliée par le levier. Si la longueur du levier est 10, si celle du rayon du cylindre est 1, le poids à soulever est dix fois plus grand que celui qui le soulève.

PROPOSITION V. — Les *roues dentées* et les *engrenages* servent pour transmettre le mouvement dans les machines qui sont rapprochées du moteur. Quand le moteur est éloigné, on se sert de courroies.

Digitized by Google

Si la roue dentée agit sur une barre dentée ou crémaillère, la machine s'appelle *cric*. — Si on tourne un treuil au moyen d'engrenages et si on fait passer la corde ou la chaîne sur une poulie attachée à un montant, on obtient la machine appelée *grue*. — Si la roue qui doit engrener est très-petite, on la nomme *pignon*.

L'*épaisseur* des dents est leur dimension sur la circonférence; la *longueur*, leur dimension sur le rayon; la *largeur*, celle dans le sens de l'axe; l'intervalle entre deux dents est le *creux*, qui ajouté à l'épaisseur forme le *pas* de l'engrenage.

Pour arriver à la perfection dans tout système d'engrenages, il faut faire les dents aussi petites et aussi nombreuses que possible.

Les conditions d'équilibre sont encore les mêmes que celles du levier; elles peuvent se résumer ainsi qu'il suit :

1° Le rayon du pignon est au rayon de la roue, comme 1 est au nombre de tours que le pignon doit faire par tour de roue, de là : $r : r' = n : 1$, $\qquad r = r' n$

(r et r' sont les rayons des cercles; n le nombre de tours que doit faire le cercle dont le rayon est r'.)

2° La valeur des rayons est :

$$r = \frac{nd}{n+1}, \qquad r' = \frac{d}{n+1}$$

($d = r + r'$ ou la distance entre les centres des rayons de ces cercles qu'on nomme cercles primitifs ou proportionnels et qui servent de base pour le tracé d'un engrenage.)

3° Le nombre des dents, toujours égales dans un système d'engrenage, est dans le même rapport que les circonférences des roues, et, par conséquent, dans le même rapport que leurs rayons.

4° L'effort qu'une dent doit supporter dans la pratique, est égal à la quantité maximum de travail transmis par la roue, divisé par la vitesse de la circonférence du cercle primitif. — Quant à la résistance que les dents doivent offrir, il en sera question dans le chapitre suivant.

PROPOSITION VI. — La *courroie sans fin*, s'enroulant sur

Digitized by Google

deux tambours ou cylindres, sert pour transmettre le mouvement d'une machine motrice éloignée aux organes d'un ou de plusieurs mécanismes. Afin d'arrêter le mouvement, on fait glisser la courroie à côté de l'arbre qui traverse le tambour. Les deux parties de la courroie s'appellent *brins*. Le *brin moteur* doit être plus tendu que le deuxième brin. Cette différence de tension constitue la force.

Dans les courroies, il y a à déterminer l'épaisseur et la largeur. Quant à l'épaisseur, on peut faire porter aux courroies une tension de 0,25 kilogrammes par millimètre carré de section, ce qui permet de déterminer leur largeur d'après leur épaisseur. Quant à la largeur, en voici la règle pratique : une courroie de 0^m 08 de largeur et douée d'une vitesse de 160 mètres par minute, peut transmettre la force d'un cheval. — En résumé, on admet que la largeur des courroies est en raison inverse de la vitesse.

Telles sont les applications principales du levier. Passons maintenant, comme nous nous le sommes proposé, à l'examen du plan incliné.

PROPOSITION VII. — Un corps placé sur un *plan incliné* est sollicité d'en descendre par la gravité. Cette force résultante se décompose en deux composantes, dont l'une, normale au plan incliné, est détruite par la résistance du plan ; l'autre, parallèle, fait glisser le corps ; elle exercerait toute son action si le frottement n'existait pas ; mais ce frottement suffit quelquefois pour empêcher le glissement, surtout si la surface est raboteuse, peu inclinée, et si le corps est lourd ; car alors il augmente le frottement. Nous verrons plus loin que le frottement est proportionnel à la pression. — La moitié de ce parallélogramme des forces est semblable au triangle formé par le plan incliné ; de là l'énoncé de la relation d'équilibre se fait ainsi : « Le rapport de la force qui retient le corps sur le plan incliné, au poids du corps, — est égal, — au rapport de la hauteur du plan incliné, à sa longueur. » — Donc, si la hauteur est le quart de la longueur, la force est le quart de la résistance opposée ou du poids.

Cette relation d'équilibre peut aussi s'énoncer ainsi : « La

Digitized by Google

puissance est à la résistance comme la hauteur du plan incliné est à sa longueur. »

On construit des plans inclinés de toutes façons ; on fait rouler, en les soutenant avec des cordes, des tonneaux sur des escaliers ; on les monte sur des charrettes à longs brancards ou des *haquets* ; on se sert des *coins*, qui sont des plans inclinés, sur la hauteur desquels ou sur la *tête de coin*, agit la force. La *vis* est également un plan incliné qui tourne contre un cylindre.

Quant aux formules des pressions exercées par les corps sur les plans inclinés, elles se trouveront dans le § 4 destiné au frottement.

PROPOSITION VIII. — Le mouvement d'un corps sur un plan incliné suit la loi des corps tombant verticalement ; la vitesse acquise par le corps sur ce plan, est donc égale à celle du corps tombé de la même hauteur mesurée verticalement. — Si la hauteur du plan est le quart de sa longueur, la vitesse que le corps aura acquise au bout d'une seconde est quatre fois plus petite que s'il était tombé pendant une seconde librement et suivant la verticale.

Pour examiner le mouvement d'un corps sur une surface courbe, on en considère la courbure comme composée d'une infinité de plans dont chacun peut être assimilé aux traces d'un plan incliné. Tel est le mouvement d'un *pendule* dont une oscillation a une durée : $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ (l est la longueur du pendule). — Cette formule, traduite en langage ordinaire, démontre que si la longueur du pendule varie, la durée de l'oscillation varie comme la racine carrée de cette longueur. — Pour trouver la longueur d'un pendule dont les oscillations ont une durée connue, on la déduit encore de cette même formule, et on obtient : $l = \frac{g t^2}{\pi^2}$

Le pendule à seconde pour lequel $t^2 = 1$, a donc une longueur $= \frac{g}{\pi^2} = 0^m,99$.

Digitized by Google

COROLLAIRE. — En développant l'équation $t = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ on obtient $g = \frac{\pi^2 l.}{t^2}$ On a mesuré la valeur de g directement, en laissant tomber un corps, et on l'a trouvée $= 9^m81$; maintenant, pour la calculer, on n'a qu'à chercher la durée d'une oscillation en faisant osciller un pendule pendant un certain temps, en comptant le nombre des oscillations, et on en déduit le temps d'une oscillation ; π et l sont connues, et l'équation peut être résolue ; on obtient ainsi g encore égal à 9^m81.

En théorie, on considère le pendule comme formé d'un fil non pesant auquel est attaché un corps réduit à un point qui est le *point matériel ;* ce pendule imaginaire se meut dans le vide parfait et sans frottement au point d'attache ; on l'appelle *pendule simple*, en opposition du *pendule composé*, qui effectivement se compose d'une barre métallique terminée par un corps lenticulaire et travaillé, — par les horlogers, — de façon qu'il offre le moins de résistance et de frottement possible.

PROPOSITION IX. — Les *volants* des machines ont pour but d'emmagasiner la force du moteur qui n'est pas utilisée momentanément, et de restituer cette partie dans le moment nécessaire, afin de régulariser la marche des mécanismes.

Cette régularisation est nécessaire quand la puissance et la résistance sont variables périodiquement, comme dans les laminoirs, dans les marteaux ; elle dépend du reste des circonstances locales ; cependant on admet de faire le rayon le plus grand possible et de donner au volant une vitesse qui ne dépasse pas 25 mètres par seconde, et de le placer le plus près possible de la pièce dont le mouvement est variable.

La recherche du poids du volant est le point capital dans cette question, qu'on simplifie en négligeant le poids des bras et en ne considérant que celui de l'anneau. Cette dernière valeur peut être exprimée en fonction de la force de la machine et en fonction des dimensions de l'anneau. Voici ces deux équations pour un volant en fonte :

Digitized by Google

P (exprimé en fonction de la force de la machine) $= \frac{E\,n^2}{v^2}$

(P est poids du volant en fonte; v sa vitesse par seconde en mètres à la circonférence; n le travail en chevaux-vapeur; E le coefficient = 7,500 en moyenne pour une machine de 30 chevaux qui ne donne pas de chocs.)

P (exprimé en fonction des dimensions de l'anneau) $=$ 45240 $a.\ b.\ r.$

(a largeur de l'anneau parallèlement à l'axe; b son épaisseur en prolongement du rayon; r le rayon moyen de l'anneau.)

§ 3. — Travail mécanique.

DÉFINITIONS. — Le travail mécanique est le résultat de l'action d'une force sur un corps; le travail mécanique porte divers noms: *puissance mécanique*, *moment d'activité*, *effet dynamique*, *quantité d'action* ou *quantité de travail*. Ce travail peut toujours être ramené à un poids élevé à une certaine hauteur. — L'unité de cette mesure est un kilogramme élevé à la hauteur d'un mètre; cette unité s'appelle *kilogramme-mètre;* on la représente par le signe 1 kilogr. ^{m}, ou 1 $^{k.\,m.}$, ou 1^{km}. Pour pouvoir évaluer le travail sans chaque fois avoir égard au temps, on admet la seconde comme unité de temps.

Quand il s'agit de machines, alors comme travail par unité, on prend celui effectué en dix heures par un cheval qui élève 75 kilogrammes à un mètre dans une seconde. Les chevaux ordinaires n'élèvent que 40 à 50 kilogrammes. Cette force a été appelée *force de cheval* par James Watt, à l'époque où les machines des fabriques étaient mues par des manéges. L'expression est restée, sous le titre de *cheval-vapeur*, quand la vapeur a remplacé les chevaux. Cette unité n'a pas de cours légal; elle est la monnaie du travail industriel; on la mesure avec des *dynamomètres* ou instruments formés d'un assemblage de lames d'acier sur lesquelles s'exercent les pressions indiquées par l'aiguille d'un cadran. Ainsi, quand on dit telle machine a une force de 10 chevaux ou de 10

Digitized by Google

chevaux-vapeurs, on entend par là qu'elle peut élever 10 fois 75 kilogrammes à la hauteur d'un mètre dans une seconde.

PROPOSITION I. — Les *forces motrices* sont produites par des êtres organisés ou *moteurs animés :* l'homme, le cheval, l'âne, le bœuf, etc., et par des *moteurs inanimés* ou forces physiques : l'élasticité des ressorts, les corps qui tombent, les cours d'eau, le vent, la dilatation des gaz par la chaleur, l'élasticité de l'air ou des gaz comprimés, l'électricité, le magnétisme. — Admettons, dans toutes les évaluations du travail, la journée : jour et nuit de 24 heures. La vitesse est le résultat du mouvement naturel des membres pendant un travail moyen *sans effort* de 10 heures ; ainsi un cheval allant au pas, marchera pendant 10 heures ; au galop, il n'ira que pendant 5 heures dans la journée de 24 heures.

Voici l'évaluation du travail mécanique des moteurs animés :

NATURE DU MOTEUR.	TRAVAIL produit en kilogrammes mètres.
Un homme marchant sur un chemin horizontal et sans fardeau, pendant 10 heures, en faisant avancer son propre poids.....	351,000
Un homme montant sur un plan incliné, sans fardeau, c'est-à-dire montant le poids de son propre corps pendant 8 heures.....	280,000
Un manœuvre élevant des poids pendant 6 heures.....	77,760
Un manœuvre portant des poids au haut d'une rampe et revenant à vide, pendant 6 heures.....	43,200
Un manœuvre jetant de la terre à la pelle à 1 m,6 de hauteur pendant 10 heures.....	38,800
Un manœuvre agissant sur une machine pendant 8 heures.....	260,000
Un manœuvre transportant des matériaux dans un camion pendant 7 heures.....	180,000
Un manœuvre transportant des matériaux dans une brouette pendant 7 heures.....	108,000
Un manœuvre transportant des fardeaux sur son dos pendant 10 heures.....	590,000
Un cheval allant au pas, attelé à une voiture pendant 10 heures.	2,168,000
Un cheval allant au trot pendant 5 heures.....	1,538,100
Un cheval allant au trot dans un manége pendant 5 heures....	972,400
Un cheval transportant des fardeaux dans une charrette, et marchant au pas pendant 10 heures.....	2,772,000
Un cheval chargé sur le dos allant au pas pendant 10 heures....	4,753,000
Un cheval chargé sur le dos allant au trot pendant 7 heures....	4,435,000
Un bœuf allant au pas dans un manége pendant 10 heures....	1,037,000
Un mulet allant au pas dans un manége pendant 10 heures....	778,000
Un âne allant au pas dans un manége pendant 10 heures.....	325,000

Digitized by Google

PROPOSITION II. — Dans les *moteurs inanimés*, les forces sont limitées par la nature spéciale de la matière et par des considérations économiques. C'est ainsi qu'un ressort trop tendu se casse, et que le vent trop fort, l'ouragan, renverse les machines. Au sujet de ces moteurs, il n'y a pas lieu d'établir des préceptes. — Dans les *moteurs animés*, les forces sont limitées par la nature de l'organisme. C'est ainsi qu'un cheval trop chargé n'avance plus, qu'un cheval sans charge ne court pas plus vite qu'avec une charge modérée, que deux chevaux attelés ensemble sont loin de traîner le double de la charge d'un cheval.

Les *limites naturelles du travail* qu'on peut demander aux moteurs animés, sont fixées par l'observation; elles peuvent se résumer dans les données d'expérience suivantes :

1° L'homme pèse en moyenne 70 kilogrammes.

2° Le plus grand poids qu'il puisse porter est de 150 kilogrammes.

3° Il peut soulever 300 kilogrammes.

4° Son effort en tirant est de 60 kilogrammes, de même en poussant.

5° La vitesse du coureur est de 13 mètres par seconde; ordinairement elle est de 7 mètres par seconde.

6° La vitesse de la marche ordinaire est de 2 mètres par seconde.

7° La marche du voyageur est de 1^m60 par seconde.

8° Le pas horizontal de l'homme est de 0^m65.

9° La plus grande hauteur que l'homme puisse franchir sans gêne, est de 0^m25.

10° Le soldat chargé de 15 à 20 kilogrammes parcourt 50 kilomètres en 10 heures de marche par jour.

11° Un colporteur chargé de 44 kilogrammes parcourt 20 kilomètres par jour.

12° Les chargeurs portent 80 kilogrammes à 30 mètres, en faisant 300 voyages par jour.

13° Le cheval pèse 300 à 700 kilogrammes; le poney pèse 200 kilogrammes.

14° L'effort maximum du cheval est de 500 kilogrammes;

Digitized by Google

le cheval d'omnibus, de malle-poste, etc., exerce un effort de 450 kilogrammes.

15° La plus grande vitesse des chevaux de course pendant un quart d'heure, est de 15 mètres par seconde.

16° La vitesse au galop ordinaire est de 10 mètres par seconde ; au trot, de 3^m50 ; au grand pas, 2 mètres ; au petit pas, 1 mètre.

17° Les chevaux de malle-poste traînent 500 kilogrammes à la vitesse de 4 mètres par seconde, et parcourent 20 kilomètres par jour.

18° Les chevaux des diligences traînent 860 kilogrammes à la vitesse de 3^m20 par seconde, et parcourent 24 kilomètres par jour.

19° La charge moyenne sur le dos d'un cheval est de 150 kilogrammes.

20° Un cheval, avec son cavalier, marchant pendant 7 heures, parcourt 40 kilomètres avec une vitesse de 1^m6 par seconde.

21° Sur un chemin de fer, un cheval traîne 12 tonnes avec une vitesse de 3 kilomètres à l'heure, et 9 tonnes avec une vitesse de 4 kilomètres.

22° Sur un canal, un cheval traîne 30 tonnes avec une vitesse de 3 kilomètres à l'heure.

PROPOSITION III. — *L'effet utile du tirage* d'une voiture dépend de l'état de la voie ; cet effet est dans son minimum sur le terrain naturel, et dans son maximum sur les chemins de fer. — Cet effet peut être apprécié par les données d'expérience suivantes :

1° La résistance opposée par les routes bien entretenues, aux voitures, est proportionnelle à la pression exercée par les roues, et elle est en raison inverse du diamètre de ces roues ; elle est indépendante du nombre des roues et de la largeur de leur jante ou bande.

2° La résistance opposée par les routes mal entretenues ou rechargées, ou par le terrain compressible, augmente en raison de la diminution des jantes.

3° La résistance est à peu près indépendante du mode do

Digitized by Google

suspension des voitures, quand la vitesse n'est pas considérable ; la résistance croît avec la vitesse, si cette dernière est considérable.

Voici maintenant les chiffres qui correspondent à ces données :

NATURE DE LA VOIE (la charge est égale à 1).	RAPPORT du tirage à la charge.	
Terrain naturel	0,250	(1)
Terre ferme unie	0,040	
Chaussée en sable	0,130	
Chaussée en empierrement	0,080	
Chaussée parfaitement bien entretenue	0,030	
Pavé (les voitures étant suspendues) au pas	0,030	
id. id. au trot	0,070	
Plankroad (chemins américains en bois)	0,020	
Chemins à ornières ou à dalles très-dures	0,010	
Chemins de fer à rails saillants	0,007	
Chemins de fer dans les meilleures conditions d'établissement	0,005	

§ 4. — Frottement.

DÉFINITIONS. — Les premières expériences pour déterminer les lois de frottement ont eu lieu déjà en 1700 ; elles ont été continuées par M. Morin, qui a introduit dans ses recherches un nouvel élément : le choc, considéré comme une pression d'une grande intensité, exercée pendant un temps très-court. Voici la description de l'appareil pour apprécier l'effet de cette percussion : « Des barres de fonte sont attachées à un traîneau et glissent sur des barres de fonte ; à un mécanisme placé au-dessus est attaché un boulet par une mèche à laquelle on met le feu au moment du départ. » On a poussé très-loin ces précautions ; mais cependant, pour les rendre complètes, il faudrait employer un boulet indépendant, car

(1) Explication : Sur le terrain naturel on peut faire avancer dans une voiture un poids d'un kilogramme avec 0,25 kilogrammes.

Digitized by Google

au moment où il tombe, son poids n'étant plus joint à celui du traîneau, il en diminue la pression. Il résulte de cette expérience que, dans le choc, les frottements dus aux pressions sont encore proportionnels à ces pressions et indépendants de la vitesse ; ce qui est le théorème sur lequel reposent tous les calculs de frottement.

PROPOSITION I. — Dans une machine en mouvement, on distingue trois forces : les forces mouvantes ou motrices ; — les résistances utiles qui sont les forces opposées aux forces motrices ; — enfin les résistances nuisibles telles que le frottement, les chocs, la roideur des cordes ou des courroies, etc.

La formule générale est : Force motrice = résistance utile + résistance nuisible. — Ainsi, on voit par cette équation que, pour qu'une machine marche, il faut que la force motrice soit plus grande que la résistance utile, à moins que la résistance nuisible ne devienne nulle ; dans ce cas, la force est égale à la résistance. Or, comme on ne peut pas construire des machines dont la résistance nuisible soit nulle, cette machine, ou le mouvement perpétuel, devient impossible.

PROPOSITION II. — Dans les frottements on distingue deux espèces : le *frottement de glissement* et celui *de roulement*. — Les circonstances qui accompagnent ces frottements peuvent être résumées dans les faits d'expérience suivants :

1° Le frottement est proportionnel à la pression sur les surfaces frottantes.

2° Le frottement varie selon la nature des corps et l'état des surfaces.

3° Le frottement est indépendant de l'étendue des surfaces et de la vitesse. (Cependant, par des expériences récentes, on a pu voir que le frottement diminue dans les grandes vitesses.)

4° La résistance au roulement est proportionnelle à la pression, et en raison inverse du rayon des rouleaux.

5° La résistance au roulement, à poids et à diamètres égaux, augmente quand la largeur de contact des rouleaux diminue et lorsque le roulement se fait sur des corps compres-

Digitized by Google

sibles; par conséquent, la largeur des jantes des roues doit être grande si la voie est molle.

6° L'eau augmente le frottement.

7° Quand on dépasse une certaine limite dans les pressions, le frottement se change en grippement, c'est-à-dire les surfaces s'entament, se déchirent, et finissent par se détruire.

8° Quand le graissage est fait avec soin, on peut donner aux surfaces frottantes une pression de 30 kilogrammes par centimètre carré.

PROPOSITION III. — Le *coefficient de frottement* est le rapport entre la résistance qui s'oppose au mouvement et la pression qui s'exerce contre les surfaces de contact; donc, en connaissant la pression, on n'a qu'à la multiplier par ce coefficient pour avoir la valeur du frottement. — Dans les frottements il faut distinguer deux cas : quand les corps commencent à se mouvoir, ou le frottement au départ, et quand ils sont en mouvement.

Voici les coefficients de frottement pour les corps les plus usités dans les constructions.

Digitized by Google

NATURE DES CORPS FROTTANTS classés par ordre alphabétique.	COEFFICIENTS DE FROTTEMENT	
	au départ.	en mouvement.
(*Frottement de glissement.*)		
Bois de chêne sur bois de chêne, à fibres parallèles, sans enduit	0,62	0,48
Bois de chêne sur bois de chêne, à fibres perpendiculaires, sans enduit	0,54	0,34
Bois de chêne sur bois de chêne frotté de savon.	0,44	0,16
Bois de chêne sur calcaire	0,71	0,25
Bois de chêne sur fonte	0,63	0,36
Bois sur pavé	0,65	0,38
Bois sur terre battue	0,65	0,58
Brique sur calcaire	0,40	0,33
Bronze ou cuivre sur bronze	0,67	0,65
Bronze sur chêne	0,22	0,20
Bronze sur fer	0,62	0,25
Bronze sur fonte	0,20	0,18
Calcaire sur calcaire	0,24	0,22
Corde sur chêne	0,70	0,64
Cuir sur chêne	0,62	0,52
Fer sur bronze	0,61	0,36
Fer sur calcaire	0,20	0,18
Fer sur chêne	0,72	0,69
Fer sur fer	0,62	0,49
Fer sur fonte	0,17	0,16
Fer sur orme	0,19	0,18
Fonte sur bronze	0,25	0,20
Fonte sur chêne	0,17	0,15
Fonte sur fonte	0,61	0,49
Granit sur granit	0,16	0,15
Grès sur grès avec mortier	0,72	0,60
Grès sur grès sec	0,80	0,66
Libage sur argile humide	0,76	0,71
Orme sur chêne frotté de savon	0,60	0,40
Orme sur chêne sans enduit à fibres parallèles.	0,44	0,25
Surfaces planes lubréfiées au moyen d'huile ou de graisse, de tous les corps précédents	0,69	0,45
	0,15	0,08
(*Frottement de roulement.*)		
Dans le frottement des axes sur des coussinets, dans le frottement de la fonte ou du fer sur la fonte et sur le bronze, graissés, on admet comme coefficient général	0,065	0,054

PROPOSITION IV. — On voit par le tableau ci-dessus que les surfaces qui ont été en repos et en contact pendant quelque temps donnent un frottement plus considérable au premier instant (frottement au départ) ; les vibrations suffisent pour le vaincre dans beaucoup de cas ; ainsi on a vu des mai-

Digitized by Google

sons s'écrouler tout à coup par le passage d'une voiture ; on sait aussi que le tir par salves d'une batterie de brèche accélère de préférence la chute d'un rempart.

Il en résulte comme règle pratique qu'il faut se servir des chiffres de la 2e colonne quand il s'agit de constructions sujettes à des ébranlements.

PROPOSITION V. — Pour trouver la valeur du frottement dans les divers cas, on applique les formules suivantes :

$T = f.\ p.\ e.$ pour un corps qui se meut sur une surface plane.

$T = fp.\ 2\pi r.$ pour un axe qui tourne dans un coussinet.

$T = \frac{fp.4\pi r.}{3}$ pour un pivot vertical.

(*T* est le travail absorbé par le frottement; *f* le coefficient de frottement; *p* la pression qui s'exerce sur les surfaces frottantes; *e* l'espace parcouru; *r* le rayon du tourillon.)

PROPOSITION VI. — Le frottement peut retenir les corps sollicités par des forces sur des plans inclinés, ou retarder leur mouvement. — On distingue plusieurs cas, pour lesquels on a établi les formules d'équilibre ainsi qu'il suit :

1° Le corps reste en repos sur un plan incliné dès que l'inclinaison de ce plan exprimée par la tangente (*a*) est égale au coefficient du frottement (*f*) ;

$$\text{Tangente } a = f.$$

(*a* est l'angle du plan incliné avec l'horizon; la tangente exprime le rapport de la hauteur du plan incliné avec sa base.)

2° Le corps monte sur un plan incliné s'il est sollicité par une force verticale (*P*). La relation d'équilibre :

$$P = \left(\frac{\text{sin. } a + f.\ \text{cos. } a}{\text{cos. } b + f.\ \text{sin. } b}\right) P'.$$

(*a* est l'angle du plan incliné avec l'horizon; *b* est l'angle de la direction de la force *P* avec ce plan; *P'* est le poids du corps, et *f* est, comme précédemment, le coefficient du frottement.)

3° Le corps étant tiré par une force horizontale, l'angle (*b*)

Digitized by Google

précédent devient égal à l'angle (a), et la formule se réduit :

$$P = \left(\frac{f + \text{tangt. } a}{1 + f \text{ tangt. } a}\right) P'.$$

(Les notations sont les précédentes.)

4° Si le corps est poussé pour qu'il monte, l'équation est :

$$P = \left(\frac{\text{sin. } a + f \text{ cos. } a}{\text{cos. } b - f. \text{ sin. } b}\right) P'.$$

PROPOSITION VII. — A titre d'application du frottement, nous citerons : *la presse à coin ; la vis ; le frein dynamométrique de Prony ; les corps de pompes ; la roideur des cordes ; la perte de travail par le frottement dans les engrenages, dans les boutons de manivelles ou dans les excentriques.*

1° Les doubles coins dans les presses à coin ont pour rapport (r) de l'effet utile au travail dépensé par les coins qui glissent l'un sur l'autre, l'expression :

$$r = \left(\frac{1 - f^2 - 2f \text{ tangt. } a}{(1 - f^2) \text{ tangt. } a + 2f}\right) \textit{tangt. } a.$$

(Les notations sont les précédentes; f est le coefficient de frottement des coins entre eux; f' le coefficient de frottement des coins contre la presse.)

2° L'effet exercé sur le bras d'un levier attaché à une vis pour vaincre le frottement et pour produire une pression donnée, est déterminé par l'équation suivante :

$$P = \frac{r\,Q}{m}\left(\frac{h + 6\,f.\,r.}{6\,r - fh}\right).$$

(P est l'effort à appliquer; Q la pression à produire; m le bras de levier; r le rayon du filet de la vis; h le pas de la vis; f le coefficient de frottement.)

3° Le frein à frottement de Prony comprend une poulie à gorge qui est sur l'arbre d'une machine; un levier avec plateau y est adapté; des poids placés dans le plateau produisent l'équilibre, dont l'équation est :

$$P = \frac{2\,\pi\,m.\,n.\,p.}{4500}$$

Digitized by Google

(*P* est la force en chevaux-vapeur; *p* le poids équilibrant en kilogrammes; *m* la longueur du bras de levier; *n* le nombre de révolutions par minute.)

4° Dans les corps de pompes, le travail absorbé par le frottement est :

$$P = f.d.h.$$

(*d* est le diamètre du piston; *h* la charge d'eau; le coefficient de frottement :

$f =$ 7	kilogrammes pour le corps de pompe en laiton.	
$f = 15$	id.	fonte simplement forée.
$f = 25$	id.	bois lisse.
$f = 50$	id.	bois usé.)

5° La roideur des cordes est déterminée par l'équation :

$$R = \frac{C + EP}{d};$$

(*R* est la valeur de la roideur de la corde par rapport au diamètre (*d*) de la poulie, ou l'effort qu'il faut exercer pour vaincre la résistance à l'enroulement; *C* est le coefficient en kilogrammes qui exprime la roideur naturelle de la corde = 0 kilog. 01 à 0 kilog. 52; *E* est le coefficient de la tension = 0 kilog. 002 à 0 kilog. 01.)

(Ces valeurs de *C* et de *E* sont entre elles comme les carrés des diamètres des cordes en bon état, elles comptent depuis 1 fil jusqu'à 40 fils.)

6° Le travail perdu par le frottement des engrenages :

$$= 0{,}33\ n.f.q.r\left(\frac{a + a'}{aa'}\right);$$

(*n* est le nombre des tours de roue dans une seconde; *f* le coefficient de frottement; *q* l'effort transmis à la roue; *r* le rayon du cercle primitif; *a* et *a'* représentent le nombre des dents des roues.)

7° Le travail perdu par le frottement d'un bouton de manivelle $= 6{,}3.f.q.r$;

(*f* est le coefficient de frottement; *q* l'effort à transmettre par le bouton; *r* son rayon.)

8° Le travail perdu dans le frottement par un excentrique est calculé d'après la formule précédente. Comme règle pratique, ajoutons, qu'il est prudent de n'employer les grands excentriques que pour les pièces à faible résistance, par la raison, que le rayon de ces excentriques est très-grand relativement à la course de leur bielle; le frottement de ces excentriques est alors, toute proportion gardée, très-considérable.

Digitized by Google

§ 5. — Relevé du travail produit par les machines les plus connues, classées par ordre alphabétique.

DÉSIGNATION des machines.	FORCE des machines en chevaux-vapeur.	RÉSULTAT du travail produit par heure.
Filature de laine	10	42 kilog. de laine.
Filature de coton	110	26,000 broches mises en mouvement.
Forge (bocard)	11	2,400 levées du pilon.
Foulon à compression	2	1/2 pièce de laine de 30 kil.
Huilerie à vapeur	3	50 kilog. d'huile.
Laminoir	50	500 kilog. de fer, ou 100 kilog. de tôle.
Machines accessoires de la fabrication des farines, telles que :		
Bluteries	6,5	750 kilog. de blé.
Vermicelleries	3	35 kilog. de pâte.
Machine d'épuisement (voir hydraulique).		
Machine pour le travail du bois, à planer, à raboter, en moyenne	2	21,600 tours de la poulie motrice.
Machine soufflante (voir hydraulique).		
Machines pour roues de voitures. L'atelier comprenant :		
1° Machine à arraser les broches.	0,25	1,1 roue.
2° Machine à équarrir les mortaises	0,46	1,4 —
3° Machine à faire les broches des rais	0,50	2 —
4° Machine à percer les jantes	0,25	1,4 —
5° Machine à percer les trous des moyeux	1	3 —
6° Machine à planer les rais	2	1 —
7° Scie à couper les jantes	1	3 —
8° Scie à couper les rais en longueur	0,25	1,4 —
9° Scie à mettre les rais d'équerre.	0,25	1 —
10° Tour à moyeux	1	1 —
Marteau de forges	30	4,500 coups de marteau.
Moulin à la française. (Diamètre des meules 1m,80 ; nombre de tours par heure 4,200.)	3,4	120 kilog. de farine.
Moulin à l'anglaise. (Diamètre des meules 1m,30 ; nombre de tours par heure 6,600.)	8,5	200 kilog. de farine.
Papeterie	2	10 kilog. de pâte.
Scierie à scie droite. (Nombre de coups par heure 5,280.)	3,3	2,8 mètres carrés de bois de chêne.
Scierie à scie circulaire. (Diamètre de la scie 0m,70 ; nombre de tours par heure 15,900.)	3,5	11 mètres carrés de bois de chêne.
Id. (Nombre de tours 14,400.)	7,3	45 mètres carrés de bois de sapin.
Tissage mécanique de toiles de coton.	26	120 mètres de toile.

Digitized by Google

CHAPITRE V.

RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX.

§ 1. — Principes.

DÉFINITIONS. — 1° Les matériaux employés généralement dans les constructions sont : les métaux, fer, fonte, acier, cuivre, zinc; les minéraux, pierres, sables, terres; les végétaux, bois, cordes.

2° Les forces auxquelles ces matériaux sont soumis agissent : en *tirant*, ou par extension, quand le solide est suspendu ; — en *comprimant*, ou par compression, quand le solide repose sur sa base; — en *fléchissant*, ou par flexion, quand le solide repose sur des appuis ou quand il est encastré; — enfin en *tordant*, ou par torsion, quand le solide encastré tourne sur lui-même.

3° Telles sont les quatre forces définies ; il en existe encore qui ne sont qu'une modification de l'extension; ce sont les forces de *cisaillement* et de *dilatation*. — Dans le premier cas, les molécules sont tirées, comprimées, fléchies et même tordues, et sont ainsi soumises à toutes les forces à la fois ; on classe le cisaillement dans l'extension, car l'effort a pour but d'arracher le corps, tel que cela a lieu sur les rivets qui assemblent les plaques en tôle. — Dans le deuxième cas, celui de la dilatation, la force d'extension agit dans l'intérieur du corps, et elle produit l'explosion dès que les limites d'élasticité sont outre-passées. Cette force de dilatation est produite tant par la chaleur, l'explosion d'une chaudière à vapeur, que par le froid, l'éclatement d'une bombe remplie

Digitized by Google

d'eau. L'eau, par la congélation, — soit dit en passant, — donne dans ce cas une pression de 1,200 atmosphères.

4° On croit à tort que la force de dilatation soit infinie, et qu'aucune force ne puisse lui faire équilibre. Si une barre de fer, placée dans la fente d'un rocher, est chauffée, elle tend à écarter le rocher ; mais comme il ne s'écarte pas, la barre de fer se déchire, éclate, ou se réduit, par l'écrasement intérieur, en poudre métallique, si les supports sont assez solides, et si la chaleur est modérée au point de ne pas produire de fusion. — Dire qu'aucun effort ne peut résister à la force de la *congélation* est également inexact. Je crois devoir insister là-dessus, car journellement on répète cette erreur, qui, dans les constructions, peut avoir les conséquences les plus graves. Supposons une bombe métallique de 30 centimètres de diamètre avec un creux d'un millimètre cube ; il est évident que ce millimètre d'eau ne pourrait pas, par sa congélation, la faire éclater. Or, comme l'eau ne peut pas se congeler qu'à la condition de s'étendre, et comme elle ne peut pas s'étendre du moment qu'elle a comprimé le métal jusqu'à la dernière limite, il est évident que, malgré l'abaissement de température, elle restera liquide. — Cette force est donc limitée, comme toutes les forces, et une résistance égale doit lui faire équilibre ; mais quant au principe que rien ne résiste à cette dilatation, je le rejette comme absurde.

5° On se sert de la force d'extension des métaux, dilatés par la chaleur, dans des cas très-rares, pour ramener des pans de murs dans la ligne perpendiculaire, en les reliant par des tirants en fer ; on chauffe ces barres, qui deviennent plus longues, on en serre les écrous, on les laisse refroidir ; elles se raccourcissent et redressent ces murs. — Comme cette force de dilatation agit très-lentement, on ne peut prévoir l'usage qu'on en fera dans l'industrie.

PROPOSITION I. — L'*élasticité* est la faculté que possèdent les corps de rentrer dans leur état primitif après avoir été soumis à des forces. Cette faculté se manifeste tant que les allongements ou les raccourcissements sont proportionnels aux forces qui les produisent et qui ne donnent lieu qu'à un

Digitized by Google

allongement ou à un raccourcissement élastique. L'élasticité, une fois altérée, — ce qui arrive quand on a forcé les corps, — produit l'*altération permanente* ; à partir de ce moment, les changements croissent plus rapidement par rapport aux charges qu'avant cette altération ; elle est un acheminement vers la rupture, et elle doit toujours être évitée dans les constructions. — On admet aussi que dès les plus faibles charges il se produit une altération permanente ; cependant, il reste encore à vérifier si la durée des efforts n'a pas d'influence sur cette altération, et si elle ne disparaît pas quand la charge est enlevée. Dans les limites où cette altération est proportionnelle aux charges, elle est faible au point qu'on la néglige dans la pratique, tant pour les forces qui allongent les corps que pour celles qui les compriment.

PROPOSITION II. — La mesure de l'élasticité a lieu au moyen d'une valeur appelée *coefficient* ou *module d'élasticité*. Ce module s'applique à l'extension : coefficient d'élasticité relativement à l'extension, quand le corps soumis à la traction s'allonge d'abord et se rétrécit ensuite dès que l'effort cesse. Ce module s'applique aussi à la compression, quand le corps comprimé s'aplatit et revient à sa hauteur primitive.—Ces deux modules d'élasticité relativement à l'extension et à la compression diffèrent peu, attendu que les quantités allongées et celles comprimées sont presque égales à charge égale. Par cette raison, on s'est appliqué surtout à l'étude du module d'extension dont il sera question de préférence dans la proposition suivante.

PROPOSITION III. — Le *coefficient* ou *module d'élasticité* est la force imaginaire de la traction longitudinale capable d'étendre du double un corps. Si un corps d'une section a et d'une longueur l est soumis à un effort de traction p, il s'allonge d'une quantité l', proportionnelle à la longueur totale ; le rapport $\frac{l'}{l}$ est une quantité constante i, représentant l'allongement par mètre courant. Si p ne dépasse pas certaines limites, la valeur i varie proportionnellement au rap-

Digitized by Google

port $\frac{p}{a}$, qui est la charge par unité de section ; le rapport de $\frac{p}{a}$ à i, ou $\frac{p}{ai}$, est constant pour une seule et même matière ; c'est le coefficient d'élasticité qu'on désigne toujours par la lettre E. — La valeur du module d'élasticité n'est constante, répétons-le, qu'entre les limites où les changements sont proportionnels aux charges.

PROPOSITION IV. — Pour déterminer ce coefficient d'élasticité, on procède par la voie de l'analyse d'après la formule $E = p/ai$; on suppose la surface de la section égale à un mètre carré, et l'allongement égal à un mètre courant.

(Si l'on voulait donner à une tige en fer d'une section d'un mètre carré un allongement d'un mètre par chaque mètre de longueur, il faudrait, si cela était possible, y attacher un poids de 20 milliards de kilogrammes. — Ce module d'élasticité, calculé proportionnellement d'après des expériences faites avec de petites tiges, est une chose fictive, et ne sert que pour faciliter les calculs de résistance dans lesquels le mètre est admis comme unité.)

§ 2. — Extension.

PROPOSITION I. — Les conditions d'équilibre des corps soumis à l'extension sont déterminées par le principe suivant : les allongements sont proportionnels aux forces qui les produisent.

PROPOSITION II. — Le coefficient d'élasticité a été déterminé, ainsi que nous l'avons indiqué, par le calcul auquel de nombreuses expériences ont servi de base.

Voici ce module d'élasticité d'extension pour les corps les plus usités :

(*Bois.*)

Bouleau	=	900,000,000
Chêne	=	999,000,000

Digitized by Google

Érable = 1,020,000,000
Peuplier = 515,000,000
Sapin = 1,113,000,000

(*Métaux.*)

Fer doux = 18,000,000,000
Fer forgé = 20,000,000,000
Fonte = 9,096,070,000

PROPOSITION III. — Pour déterminer les charges limites ou l'effort de traction qu'on peut faire supporter aux corps d'une manière permanente, il ne suffit pas d'appliquer la limite de la charge qu'une pièce peut supporter par chaque unité de section ; il faut se mettre à l'abri de l'effet des surcharges et des efforts accidentels. Il est donc prudent de s'imposer la condition que la charge permanente soit telle que l'allongement ne dépasse pas la moitié de celui qui correspond à la limite d'élasticité, et pour que cet allongement n'atteigne pas cette limite, on calcule la charge en conséquence. — Généralement on admet pour la sécurité voulue, 1/6e de la charge de rupture dans les métaux, et 1/10e de la charge de rupture dans les autres corps. — C'est d'après ce principe, que la table suivante a été établie.

NATURE DES MATÉRIAUX SOUMIS A L'EXTENSION classés alphabétiquement.	CHARGE EN KILOG. qu'on peut faire supporter avec sécurité par 1 mètre carré de section.
Bois.	
Buis	1,400,000
Chêne dans le sens des fibres	700,000
Chêne perpendiculairement aux fibres	200,000
Frêne	700,000
Orme	700,000
Peuplier	100,000
Pièces de chêne ou de sapin assemblées par entailles	300,000
Id. id. pliées	400,000
Pin	400,000
Sapin	800,000
Teak	1,100,000
Cordes et Courroies.	
Cordages goudronnés	2,200,000
Courroie en cuir noir	200,000

Digitized by Google

NATURE DES MATÉRIAUX SOUMIS A L'EXTENSION classés alphabétiquement.	CHARGE EN KILOG. qu'on peut faire supporter avec sécurité par 1 mètre carré de section.
Grelins en chanvre d'Alsace	4,400,000
Grelins en chanvre de Lorraine	3,300,000
Vieille corde humide	1,000,000
Vieille corde sèche	2,000,000
(Dans les cordes, la rupture est précédée d'un allongement égal au dixième de la longueur primitive.)	
Métaux (1).	
(Sous le rapport de la ténacité ou de la résistance contre la rupture par extension, les métaux se classent ainsi : Fer, cuivre, platine, argent, or, zinc, étain et plomb. Sous le rapport de la ductilité, les métaux peuvent être classés ainsi : Or, argent, platine, fer, cuivre, zinc, étain, plomb.)	
Acier fondu ou de cémentation	17,000,000
Acier mal trempé	6,000,000
Acier moyen	12,000,000
Arcs en fer ou en fonte	4,200,000
Bronze	4,000,000
Câble en fil de fer	5,000,000
Chaînes en fer	4,500,000
Cuivre rouge battu	4,200,000
Cuivre rouge fondu	2,300,000
Cuivre rouge laminé	3,500,000
Étain fondu	500,000
Fer en barres	7,000,000
Fer forgé ou étiré, le plus faible	4,200,000
Fer forgé ou étiré, le plus fort	10,000,000
Fils de cuivre	8,000,000
Fils de fer (2)	14,000,000
Fils de platine écroui	19,000,000
Fonte grise	2,100,000
Laiton	2,00,000
Plomb fondu ou laminé	200,000
Tôle tirée dans le sens du laminage	7,000,000
Tôle tirée dans le sens perpendiculaire	6,000,000
Zinc fondu	1,000,000
Zinc laminé	800,000

(1) Pour mettre de l'uniformité dans ce travail, on a adopté le mètre carré comme unité, quoique dans la pratique on n'opère jamais sur des pièces ayant cette section.

(2) La fabrication des fils métalliques est très-ancienne; elle repose sur la ductilité des métaux. C'est ARCHAL qui est l'inventeur des filières; de là le nom de fil d'archal qu'on donne au fil de fer.

Digitized by Google

Pierres.

(Les pierres n'étant soumises qu'exceptionnellement à l'extension, il n'en sera question que dans le paragraphe relatif à la compression.)

Tuyaux de conduite en pierres	factices	930,000
Id.	naturelles	1,300,000

PROPOSITION IV. — Les chiffres ci-dessus sont calculés pour que l'allongement des corps n'atteigne pas les limites d'élasticité, lesquelles sont déterminées ainsi qu'il suit :

DÉSIGNATION des matériaux.	ALLONGEMENT porté à la limite d'élasticité.	CHARGE correspondant à cette limite par millimètre carré de section.
		kilogr.
(*Bois.*)		
Chêne	1/600	2
Hêtre	1/550	1,6
Orme	1/400	2,4
Pin	1/470	3,2
Sapin	1/850	2,2
(*Métaux.*)		
Acier d'Allemagne	1/850	25
Acier fondu	1/4500	66
Fer	1/1500	12
Fils de fer	1/1250	15
Fils de laiton	1/740	15
Fils de plomb	1/2000	0,4
Fonte	1/1200	10

PROPOSITION V. — La résistance au *cisaillement* est la même que celle à l'extension dans les tôles rivées ; elle est proportionnelle à la section du boulon ou rivet. Cela s'applique également aux barres laminées et rivées. — Les rivures semblent réduire la résistance; mais si elles sont bien exécutées, elles augmentent le frottement au point que les pièces rivées, surtout les tôles, sont aussi solides que les pièces entières. — On admet que, dans la tôle, chaque section cisaillée peut être soumise à un effort de traction dans le sens longitudinal de 37 kilogrammes par millimètre carré.

Digitized by Google

PROPOSITION VI. — A titre d'application des exposés précédents, nous citerons quelques règles usitées dans la pratique :

1° Jusqu'à la charge de 15 kilogrammes par millimètre carré, les allongements du *fer* croissent proportionnellement aux charges ; cette proportionnalité cesse à partir d'une charge au delà de 15 kilogrammes et surtout depuis une charge de 18 kilogrammes ; une charge de 25 kilogrammes produit la rupture dans le fer forgé faible et de 60 kilogrammes dans le fer le plus fort.

Jusqu'à la limite de la charge de 6 kilogrammes par millimètre carré, les allongements de la *fonte* sont proportionnels aux charges : une charge de 11 kilogrammes produit la rupture.

2° On peut employer avec sécurité des tiges de fer de section uniforme d'une longueur de 1,089 mètres ; elles se romprraient avec une longueur de 3,896 mètres, car leur propre poids agirait comme charge.

Il faut donc tenir compte du poids des tiges dans les sondages et dans les machines d'épuisement ; l'épaisseur de ces tiges peut être calculée d'après la formule suivante :

$$d = \sqrt{\frac{1{,}273\,P}{8000000 - pl.}}.$$

(*d* est le diamètre en mètres ; *P* la charge ou la tension ; *p* le poids du mètre cube de fer ; *l* la longueur.)

L'effort de traction qui romprait une tige de fer d'un mètre carré de section est égale à un poids de 30,000,000 kilogrammes d'après les tableaux ci-dessus. Ce poids est, à son tour, égal à une tige de fer d'un mètre carré de section et d'une hauteur (*l*) à déterminer. Le poids du mètre cube de fer est 7,700 kilogrammes ; on a donc l'équation :

$$l.7700 = 30000000,$$

d'où $l = 3896$ mètres, qui est la longueur susmentionnée d'une tige de fer cylindrique qui romprait sous son propre poids.

Il est à recommander de choisir pour les grandes tiges de

Digitized by Google

sondage les fers de meilleure qualité et d'augmenter leur épaisseur vers la partie supérieure.

3° La relation d'équilibre entre la pression exercée dans l'intérieur d'un cylindre, et sa résistance est :

$$p = \frac{2e.R}{d}.$$

(p est la pression par mètre carré; e l'épaisseur du cylindre; d son diamètre; R la résistance de la matière indiquée dans le tableau ci-dessus.)

La résistance d'un cylindre creux est la même que celle d'une sphère creuse de mêmes diamètres extérieur et intérieur.

4° Dans les tuyaux de conduite d'eau et de gaz, la pression n'est pas considérable et ne cherche pas à rompre le métal; mais ces tubes sont exposés aux chutes et aux chocs. — La pratique a donc indiqué l'épaisseur à donner à ces conduites d'après leur diamètre et d'après la nature de la matière employée. Voici les formules :

MATIÈRE DES TUYAUX.	ÉPAISSEUR des tuyaux en mètres.
Bois	$n.\ d.\ 0{,}032 + 0{,}030$
Cuivre laminé	$n.\ d.\ 0{,}002 + 0{,}004$
Fer	$n.\ d.\ 0{,}001 + 0{,}003$
Fonte	$n.\ d.\ 0{,}002 + 0{,}009$
Pierres factices	$n.\ d.\ 0{,}005 + 0{,}040$
Pierres naturelles	$n.\ d.\ 0{,}001 + 0{,}030$
Plomb	$n.\ d.\ 0{,}002 + 0{,}005$
Zinc	$n.\ d.\ 0{,}003 + 0{,}004$

(n est le nombre d'atmosphères; d le diamètre intérieur du tuyau.)

5° La force des cordages est $= 35\ c^2$ ou $345\ d^2$.

(c est la circonférence et d le diamètre; ces deux quantités sont exprimées en centimètres.)

6° La force d'épreuve des chaînes en fer pour la marine est de 17 kilogrammes par millimètre carré de section. La résistance du fer employé dans les chaînes est réduite dans la proportion de 40 à 34.

7° Relativement à la résistance du bois, on admet que sa densité ne varie pas avec l'âge de l'arbre; que le coefficient

Digitized by Google

d'élasticité diminue au delà d'un certain âge ; que l'exposition et l'âge influent sur la cohésion ; enfin, qu'il se produit toujours un allongement permanent, et qu'il n'y a pas de limites à assigner à l'élasticité.

§ 3. — Compression.

PROPOSITION I. — Les conditions d'équilibre des corps soumis à la compression sont déterminées par les principes suivants :

1° La résistance contre l'écrasement est proportionnelle à la section du corps comprimé, à charge égale ; les effets de la compression sont proportionnels aux charges.

2° Les derniers effets de la compression, ou l'écrasement, dépendent de la nature et de la forme des corps ; ainsi, dès que les limites de l'élasticité sont dépassées, les pierres se fendillent et les cubes se partagent en pyramides. Il en est de même de la fonte ; dans les bois, les fibres s'écartent et se déchirent. Cependant les métaux, à la suite de fortes compressions, diminuent de volume.

3° La résistance des pyramides tronquées est proportionnelle à la surface des bases. — La résistance des rouleaux et des sphères est proportionnelle au carré du diamètre.

PROPOSITION II. — La valeur du module d'élasticité, relativement à la compression, est :

$$E\ (fer)..... = 16{,}300{,}000{,}000.$$
$$E\ (fonte)... = 8{,}800{,}000{,}000.$$

Le coefficient du fer est plus considérable que celui de la fonte, à charge égale ; mais il n'en est pas de même du rapport de rupture déduit de la table de la proposition ci-dessous (PROPOSITION III). Le fer conserve plus d'élasticité que la fonte ; mais cette élasticité une fois altérée, on peut augmenter la charge, sans que la fonte s'écrase quand le fer l'est déjà.

Quant aux autres corps, on ne calcule pas des coefficients

Digitized by Google

spéciaux pour la compression; on se sert de ceux de l'extension.

PROPOSITION III. — Pour que l'équilibre dans les constructions soit établi, il faut que la limite extrême du chargement, avec sécurité, ne soit pas dépassée. En général, on prend une faible partie de la charge de rupture pour charge de sécurité, en ayant égard à toutes les circonstances accessoires. — En multipliant les chiffres ci-dessous des métaux par 5, ceux qui se rapportent aux pierres et aux bois par 10, et ceux relatifs aux maçonneries par 100, on obtient la valeur des charges qui produiraient l'écrasement.

C'est d'après cette base que le tableau suivant a été calculé; il sert plutôt pour des comparaisons et pour des projets que pour l'exécution. Chaque fois que l'on procède à une construction de quelque importance, on répète les expériences avec les matières dont on dispose.

NATURE DES MATÉRIAUX SOUMIS A LA COMPRESSION classés alphabétiquement.	CHARGE EN KILOG. qu'on peut faire supporter avec sécurité par 1 mètre carré de section.
Bois.	
Chêne	380,000
Frêne	300,000
Noyer	400,000
Peuplier	250,000
Pin	100,000
Sapin	370,000
Teak	600,000
Métaux.	
Cuivre battu	7,000,000
Cuivre jaune	800,000
Étain	1,000,000
Fer	6,000,000
Fonte	12,000,000
Plomb	500,000
Pierres.	
Basalte	2.000,000
Béton	40,000
Brique dure	180,000
Brique tendre	40,000
Calcaire dur	310,000

Digitized by Google

Granit de Bretagne	650,000
Granit des Vosges	700,000
Grès dur	900,000
Lave	590,000
Marbre blanc	300,000
Marbre noir	790,000
Mortier ordinaire	35,000
Mortier hydraulique	48,000
Pierre tendre	40,000
Plâtre gâché	20,000
Porphyre	2,470,000
Roche (près de Paris)	250,000

PROPOSITION IV. — Les bois employés sous forme de poteaux et de pilots sont soumis à l'écrasement. — Les préceptes relatifs aux charges que ces pièces doivent supporter peuvent se résumer ainsi :

1° D'après la règle pratique de Rondelet, il est prudent de ne pas charger un poteau de chêne d'une hauteur égale à deux fois le côté de sa base de plus de 0,48 kilogrammes par millimètre carré; et un poteau d'une hauteur de quinze fois le côté de sa base de plus de 0,38 kilogrammes. Ces deux termes extrêmes peuvent servir pour établir une règle dans un cas donné.

2° La résistance d'une pièce contre l'écrasement dépend aussi de sa longueur; car si un cube de 1 mètre supporte une certaine charge, il n'est pas dit qu'un poteau de 100 mètres de hauteur, mais également de 1 mètre de section, supporte la même charge. — On a donc introduit dans la formule de résistance la hauteur, et on a obtenu la formule pratique :

$$P = \frac{256\, b^4}{l^2}$$

(*P* est le poids en kilogrammes dont un poteau en bois peut être chargé avec sécurité; c'est la dixième partie du poids qui produirait l'écrasement; *b* est le côté de la base carrée; *l* la longueur du poteau; le chiffre de 256 est applicable au bois de chêne fort; il devient 180 pour le chêne faible; 210 pour le sapin fort et 160 pour le sapin faible.)

Si la base est rectangulaire, et si *a* est le plus grand côté, *b* le plus petit, la formule devient :

$$P = \frac{256.\, ab^3}{l^2}$$

Digitized by Google

3° En calculant le rapport des résistances relativement au rapport des hauteurs, on obtient le tableau que voici :

HAUTEUR du poteau.	RAPPORT de la résistance.	RÉSISTANCE DU BOIS (chêne ou sapin) par millimètre carré.	CHARGE PERMANENTE avec sécurité par millimètre carré.
		kilog.	kilog.
1	1	4,2	0,42
12	5/6	3,5	0,40
24	1/2	2,1	0,36
36	1/3	1,4	0,19
48	1/6	0,7	0,10
60	1/12	0,4	0,05

4° La résistance des supports en bois diminue dès qu'ils commencent à plier. Cette résistance est proportionnelle à la hauteur et à la base. Si le côté de la base est 1, et la hauteur 60, la résistance descend de 1 à 1/12, ce qui est conforme au rapport précédent.

5° A l'état sec, le bois de chêne et le bois de sapin offrent la même résistance à l'écrasement; la résistance du chêne augmente avec la dessication.

6° Les pieux des pilotis de fondations, encastrés dans le sol, ne peuvent pas fléchir; on peut leur faire supporter 35 kilogrammes par centimètre carré. — Cette résistance correspond à un refus de $0^m,0025$ par volée d'un mouton de 500 kilogrammes; le refus des pilots d'échafaudages est de $0^m,025$.

PROPOSITION V. — Le rapport moyen de la résistance de la fonte à la rupture par extension à la rupture par écrasement est de 1 à 3. On voit par là qu'il faut dans les grandes constructions employer la fonte contre l'écrasement, au lieu de l'exposer à la traction. Aussi a-t-on à peu près renoncé aujourd'hui à soumettre cette matière à des efforts autres que ceux résultant de la compression; autrefois, on en faisait des rails et des roues de wagons et on en fait encore en Amérique

Digitized by Google

et en Allemagne, mais seulement pour les wagons à marchandises et à ballastage. — L'application la plus importante de la fonte dans les constructions est celle des colonnes de supports, ou poteaux, et des arcs, dont les conditions de stabilité peuvent se résumer ainsi :

1° Dans les supports en fonte, la résistance est proportionnelle à la quatrième puissance du diamètre, et en raison inverse du carré de la hauteur. — De nombreuses expériences ont été faites pour vérifier cette théorie, qui n'a pas toujours été reconnue exacte.

2° A une hauteur de trente fois le diamètre, les colonnes en fer supportent plus de charges que les colonnes en fonte, car l'élasticité du fer y joue un rôle.

3° Dans les piliers très-longs, la résistance à la rupture est trois fois plus grande quand les bases sont planes que quand elles ne le sont pas.

4° Le renflement du diamètre vers le milieu n'augmente la résistance que d'un huitième.

5° Les colonnes en fonte creuses supportent des charges plus fortes que les colonnes pleines, à égalité de diamètre extérieur. Le diamètre intérieur devra être de 4/5 du diamètre extérieur.

6° Pour les colonnes creuses, les limites sont posées plutôt par la facilité du coulage de la fonte que par les calculs de résistance ; elle dépend surtout de la longueur des pièces à couler. Dans ces limites, le diamètre extérieur et le poids à supporter étant donnés, le diamètre intérieur peut se trouver par voie de soustraction ; mais ce n'est qu'en tâtonnant qu'on y arrivera, car l'épaisseur dépend aussi de la hauteur, comme nous l'avons vu.

7° La fonte employée sous forme d'arc a pour charge principale son propre poids. Cependant c'est moins ce poids qui détruit l'équilibre de ces constructions et qui les altère, que les effets des vibrations et de la contraction ou de la dilatation journalière provenant de la chaleur.

PROPOSITION VI. — En soumettant au calcul les règles qui viennent d'être énoncées, on obtient, pour la détermination

Digitized by Google

des dimensions des piliers, une formule, qu'on applique à la fonte et au fer :

$$P\ (\textit{fonte}) = \frac{R.\ S.}{1{,}45 + 0{,}0037\left(\frac{h}{d}\right)^2}$$

$$P\ (\textit{fer}) = \frac{R.\ S.}{1{,}55 + 0{,}0005\left(\frac{h}{d}\right)^2}$$

(*P* en kilogrammes est la charge par centimètre carré; *R* est la résistance à la rupture par compression au centimètre carré; *S* est la section en centimètres carrés; *h* la hauteur du pilier et *d* son diamètre.)

En substituant dans cette formule la valeur de *R* :

$$R\ (\textit{fonte rupture}) = 7500 \text{ kilogr.}$$
$$R\ (\textit{fer rupture}) = 2500 \text{ kilogr.}$$

et en exprimant la section *S* en fonction du diamètre :

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = 0{,}78\ d^2,$$

on obtient :

$$P\ (\textit{fonte rupture}) = \frac{5850\ d^4}{1{,}45\ d^2 + 0{,}0037\ h^2}$$

$$P\ (\textit{fer rupture}) = \frac{1950\ d^4}{1{,}55\ d^2 + 0{,}0005 h^2}.$$

Telles sont les formules de rupture : pour la sécurité il faut substituer aux chiffres 7500 (*fonte*) et 2500 (*fer*) ceux de 1250 (*fonte sécurité*) et 600 (*fer sécurité*). En dernière analyse, ces formules deviennent :

$$P\ (\textit{fonte}) = \frac{d^4}{0{,}0015\ d^2 + 0{,}0000003\ h^2}$$

$$P\ (\textit{fer}) = \frac{d^4}{0{,}0033\ d^2 + 0{,}000001\ h^2}$$

PROPOSITION VII. — Les pierres n'ont à résister qu'à l'écra-

Digitized by Google

sement, car elles ne s'étendent pas et ne fléchissent pas ; leur fragilité s'y oppose. Les qualités physiques des pierres, telle que la dureté, la pesanteur, la couleur, ne peuvent pas servir pour juger de leur résistance ; il est nécessaire, — répétons-le, — avant l'ouverture des travaux, de recourir à des expériences spéciales pour chaque espèce, d'où l'on déduit le coefficient de résistance qui sert de base aux calculs ; celui établi dans le tableau sommaire (Voir Proposition III) ne peut servir que de terme de comparaison. Ajoutons que, malgré cette incertitude, on admet que les pierres sortant du milieu des bancs d'une carrière sont plus dures que celles prises au fond (*mur*) ou au ciel (*toit*) des couches. — Quant aux qualités spéciales des pierres, il en a déjà été question dans le chapitre consacré à la physique.

Proposition VIII. — Comme conditions d'équilibre pour les pierres soumises à l'écrasement on admet :

1° Pour des figures semblables la résistance d'une espèce de pierre est proportionnelle à la surface des sections.

2° Le maximum de résistance se trouve dans la forme cubique.

3° Les pierres assemblées en maçonnerie ne doivent supporter que la vingtième partie de la résistance de la pierre unie.

4° Pour arracher les pierres liées par du mortier, il faut employer une force moyenne de 11,000 à 24,000 kilogrammes par mètre carré, suivant la nature de la pierre et du mortier.

5° Si l'on voulait comparer la force de cohésion (résistance à la rupture par extension ou traction) à la résistance contre l'écrasement, on trouverait le rapport :

De 1 : 12 (mortier de chaux).

De 1 : 9 (plâtre).

De 1 : 8 (ciment pouzzolane).

---

§ 4. — Flexion.

Définitions. — 1° Si l'on pousse à la limite de rupture la

Digitized by Google

flexion d'un solide placé sur deux appuis, la partie inférieure, devenue convexe, se déchire, — la partie supérieure, devenue concave, s'écrase. Ces deux parties, l'une allongée, l'autre comprimée, sont séparées par un plan qui ne s'allonge ni se comprime, et qui est le *plan des fibres invariables*, communément appelé : la *fibre neutre*. Cette fibre neutre passe par le centre de gravité de figure. — C'est sur l'existence de cette fibre neutre que repose la théorie de l'extension.

2° Parmi les sections d'un solide, il s'en trouve une pour laquelle la charge produit le maximum d'effet, et qui est appelée la *section dangereuse ;* on la désigne aussi dans la pratique sous le nom de *plan de rupture*. La *section d'encastrement* est toujours la section dangereuse.

3° Pour faire disparaître cette section dangereuse, on n'a qu'à donner au solide une forme telle, que toutes les sections présentent une résistance égale; c'est ainsi qu'on constitue les *solides d'égale résistance*.

4° Un solide fléchi jusqu'à la dernière limite où l'élasticité commence à s'altérer prend une courbure qu'on appelle la *courbure élastique*, ou simplement *l'élastique*.

PROPOSITION I. — Les conditions d'équilibre des corps soumis à la flexion sont déterminées par les principes suivants basés sur des expériences et contrôlés par le calcul analytique. Ces principes ne sont applicables qu'aux cas où l'élasticité n'est pas dépassée.

1° Dans la flexion, on admet l'égalité de la résistance à l'extension et à la compression ; l'élasticité de l'allongement est sensiblement la même que celle de la compression et de la flexion. On se contente de former une moyenne entre les deux premiers coefficients d'élasticité, et on l'applique à la flexion.

2° Dans un solide encastré ou reposant librement sur deux appuis, et fléchi, les raccourcissements sont égaux aux allongements.

3° La flexion d'une pièce chargée à l'extrémité et *encastrée à l'autre extrémité* est proportionnelle à la charge et au cube de la longueur, laquelle est la portée ou le bras de le-

Digitized by Google

vier. — Si la charge était uniformément répartie, elle ne produirait qu'une flexion égale au 3/8 de celle qu'elle produirait si elle agissait comme précédemment à l'extrémité.

4° La flexion d'une pièce *posée sur deux appuis* et chargée au milieu, est proportionnelle aux charges et aux cubes des demi-portées (ou distance entre les appuis.) — La flexion produite par une charge uniformément répartie, est les 5/8 de celle due à la même charge placée au milieu de la longueur.

5° Il reste à mentionner les solides *encastrés aux deux extrémités ;* leur solidité est deux fois plus grande que quand ils reposent librement ; ce cas n'arrive que pour les poutres scellées dans les murs ; il faut alors que l'encastrement soit solide et qu'il ait au moins un mètre de portée. Si la charge est placée au milieu, la flexion est proportionnelle à cette charge et au cube de la moitié de la portée.

6° Les flexions à *portées égales* sont en raison inverse des largeurs et des cubes des épaisseurs, s'il s'agit de pièces prismatiques, quel que soit le mode d'encastrement et de chargement, pourvu qu'il soit le même dans les solides comparés.

7° Le *mouvement de la charge* influe sur la flexion d'un solide. Cette considération est très-importante dans la construction des ponts des chemins de fer. L'influence de la vitesse s'explique par la transformation de la force centrifuge en pression, car le poids se meut dans une courbe, laquelle est produite par la flexion. La force centrifuge est, on se le rappelle, proportionnelle au carré de la vitesse et à la flèche de courbure. La rupture a lieu au delà du milieu et se produit souvent en plusieurs endroits à la fois. Mais comme cette flexion ne se développe que pendant le passage, il est évident que si la charge passe très-rapidement, cette flexion ne peut pas se manifester, et elle diminue au lieu d'augmenter, à partir d'une certaine vitesse. C'est ainsi qu'un patineur glisse sur la glace qu'il romprait s'il y passait lentement ou s'il y stationnait. — Dans la pratique, dès qu'il s'agit de faire fléchir des pièces de grande portée, il faut éviter d'atteindre la limite d'élasticité ; aussi préfère-t-on le fer à la fonte, qui est fragile et dont l'emploi pour poutres droites est défendu, —

Digitized by Google

soit dit en passant, — sur les chemins de fer d'Angleterre.

(Voir mon *Manuel de la construction des chemins de fer.*)

PROPOSITION II. — Ce qu'il importe surtout de connaître, ce sont les charges que peuvent supporter les pièces fléchies dans les limites de l'élasticité.

Voici pour les matériaux les plus usités dans les constructions, le relevé des charges par mètre carré de section.

NOMS DES MATÉRIAUX	CHARGE DE FLEXION avec sécurité par mètre carré de section.
	kilog.
Acier	19,000,000
Arbres en fonte de roues hydrauliques	3,000,000
Bois de chêne ou de sapin	7,000,000
Fer forgé	8,500,000
Pièces en fonte pour machines ou constructions légères.	7,000,000
Ponts en fonte de chemins de fer	2,000,000
Ponts en fonte de route	3,000,000

(OBSERVATION. — Ce tableau ne peut pas donner des valeurs absolues; quand les solides ne doivent prendre que des flexions très-petites, il faut, suivant les cas, diminuer encore les chiffres précités. Les considérations locales sont presque toujours déterminantes pour le choix de la matière d'où dépend la flexion; ainsi les poutres et les planchers peuvent prendre des flexions; les arbres des roues, les tourillons ne doivent pas fléchir.)

PROPOSITION III. — Les formules pratiques qui expriment les conditions d'équilibre des forces produisant la flexion s'appliquent aux matériaux les plus usités dans la construction : à la fonte, au fer, au bois (chêne ou sapin). — La charge à supporter étant généralement donnée de même que les dispositions de la construction et l'espacement des points d'appui, il s'agit de trouver, pour le prisme fléchi, la surface de la section. Cette section est généralement un rectangle (bh). Il existe déjà une relation connue entre la base (b) et la hauteur (h) des profils de charpente : « La base est à la hauteur comme 5 : 7. »

Digitized by Google

TABLEAU I. — *Équations d'équilibre d'un solide prismatique encastré par l'une de ses extrémités.*

(NOTATIONS. b et h la base et la hauteur de la section; P la charge; p le poids du mètre courant du solide; l la longueur du solide en dehors de l'encastrement; b^3 représente la section carrée si b devient égal à h; d^3 représente le cercle.)

PREMIER CAS. Solide chargé à l'extrémité en négligeant son poids.

$$bh^2 \text{ (fonte)} = \frac{Pl}{1,250,000.}$$

$$bh^2 \text{ (fer)} = \frac{Pl}{1,000,000.}$$

$$bh^2 \text{ (bois)} = \frac{Pl}{100,000.}$$

DEUXIÈME CAS. Solide chargé uniformément, y compris son poids, et compté comme poids total p par mètre courant.

$$bh^2 \text{ (fonte)} = \frac{pl^2}{2,500,000.}$$

$$bh^2 \text{ (fer)} = \frac{pl^2}{2,000,000.}$$

$$bh^2 \text{ (bois)} = \frac{pl^2}{200,000.}$$

$$\frac{bh^3 - 2b'h'^3}{h} \left(\begin{array}{c}\text{fonte, à double } T;\ b'h' \text{ sont les dimensions} \\ \text{de la nervure.}\end{array}\right) = \frac{Pl}{1,250,000}$$

$$\frac{bh^3 + b^3h - b^4}{h} \left(\begin{array}{c}\text{fonte ayant la section d'une croix,} \\ \text{ou solide à double nervure.}\end{array}\right) = \frac{Pl}{1,250,000}$$

$$h^3 \left(\begin{array}{c}\text{balanciers en fonte qui ont une hauteur égale à 12 ou} \\ \text{16 fois l'épaisseur. — Les nervures ont une lar-} \\ \text{geur} = 1/4 \text{ de la hauteur du balancier.}\end{array}\right) = \frac{Pl}{192,000}$$

TABLEAU II. *Équations d'équilibre d'un solide prismatique reposant sur deux appuis.*

(Les notations sont les mêmes que celles du tableau précédent.)

PREMIER CAS. Solide chargé au milieu, en négligeant son poids.

$$bh^2 \text{ (fonte)} = \frac{Pl}{4\ (1,250,000)}$$

$$bh^2 \text{ (fer)} = \frac{Pl}{4\ (1,000,000)}$$

$$bh^2 \text{ (bois)} = \frac{Pl}{4\ (100,000)}$$

DEUXIÈME CAS. Solide chargé au milieu, en tenant compte de son poids.

$$bh^2 \text{ (fonte)} = \left(\frac{\frac{P}{2} + pl}{1,250,000}\right)\frac{l}{2}$$

Digitized by Google

$$bh^2 \text{ (fer)} = \left(\frac{\frac{P}{2} + pl}{1{,}000{,}000}\right)\frac{l}{2}$$

$$bh^2 \text{ (bois)} = \left(\frac{\frac{P}{2} + pl}{100{,}000}\right)\frac{l}{2}$$

TROISIÈME CAS. Solide chargé uniformément.

$$bh^2 \text{ (fonte)} = \frac{Pl^2}{4\ (2{,}500{,}000)}$$

$$bh^2 \text{ (fer)} = \frac{Pl^2}{4\ (2{,}000{,}000)}$$

$$bh^2 \text{ (bois)} = \frac{Pl^2}{4\ (200{,}000)}$$

PROPOSITION IV. — Pour faciliter l'application des deux tableaux ci-dessus, il convient de les faire suivre de quelques explications sommaires sur la solution de ces équations, et sur quelques cas pratiques : la forme des balanciers, les dispositions des nervures, les engrenages.

1° Ces équations sont aussi établies pour le cas où l'on ne connaît pas le poids de la pièce. Ce poids ne peut être calculé que quand les dimensions en sont données ; mais ce sont précisément ces dimensions qu'il faut chercher ; on y arrive par un artifice : on les calcule d'après ces formules, sans y faire entrer le poids; on obtient ainsi les premières dimensions, et par conséquent le poids ; on recommence ces calculs en ajoutant la moitié du poids qu'on vient de trouver à la charge, et on calcule de nouveau ces dimensions, qui alors sont assez exactes pour la pratique. — Du reste, toutes ces fautes se corrigent d'elles-mêmes par le coefficient de sécurité qu'on prend égal à 1/10, comme on le prendrait égal à 1/12, etc., etc. La pratique seule peut trancher ces questions, et elle les a tranchées effectivement dans le sens indiqué.

2° On considère l'effort supporté par l'extrémité du balancier, égal à la double pression de la vapeur dans la chaudière. — On donne à la courbure la forme d'un arc de cercle imitant la parabole et terminée aux extrémités par une hauteur égale au tiers de la hauteur du milieu.

3° Il importe peu de placer la nervure qui renforce les pièces en dessus ou en dessous, tant qu'on ne dépasse pas les limi-

Digitized by Google

tes de l'élasticité ; cependant, l'expérience a démontré que la fonte résiste mieux à la compression qu'à l'extension ; il faut alors dans les pièces posées sur deux appuis, faire la nervure inférieure des fers à T plus forte que la nervure supérieure, attendu que la nervure supérieure est soumise à la compression, et la nervure inférieure à l'extension.

4° Les dimensions en centimètres des dents d'engrenage se mesurent ainsi :

$a = 4b$ (engrenage graissé marchant d'après la vitesse du cercle primitif *au-dessous* de 1m 50 par seconde).

$a = 5b$ (engrenage graissé marchant d'après la vitesse du cercle primitif *au-dessus* de 1m 50 par seconde).

$a = 6b$ (engrenage mouillé).

b (fonte)..... $= 0{,}105\sqrt{P}$

b (cuivre, bronze). $= 0{,}131\sqrt{P}$

b (bois)..... $= 0{,}145\sqrt{P}$

s..... $= 1{,}56$.

(a est la largeur des dents parallèlement à l'axe de la roue; b l'épaisseur mesurée sur la circonférence du cercle primitif; s la saillie des dents sur l'anneau de la roue. — Voir le chapitre mécanique, engrenage.)

PROPOSITION V. — Aux pièces qui doivent partout offrir la même résistance, on donne dans la théorie la forme parabolique, et on constitue ainsi les *solides d'égale résistance.* — Dans la pratique, on n'observe pas rigoureusement cette règle. Si la pièce est longue, on l'arrondit simplement au bout comme dans les sous-poutreaux placés sous les longerons des tabliers de ponts.

Le profil en un point quelconque est déterminé par l'équation :

$$y = h\sqrt{\frac{\delta}{l}}$$

(y est l'ordonnée; δ l'abscisse de parabole à compter du point d'attache de la force; h la hauteur et l la longueur de la pièce encastrée.)

Les solides d'égale résistance de forme parabolique ont

Digitized by Google

une flexion double de celle des solides prismatiques. Cette considération suffit pour faire, dans ce cas, les calculs avec les formules qui précèdent.

PROPOSITION VI. — Pour qu'un solide fléchi ne dépasse pas les limites d'élasticité, et pour qu'il supporte avec sécurité les charges, — il est utile de déterminer *à priori* la flèche de flexion qu'on peut donner, et de calculer les dimensions du solide en conséquence.

Les conditions d'équilibre des solides fléchis ont été établies dans la proposition I de ce paragraphe. — Il en résulte une proportionnalité entre les effets de la charge et de la flexion, suivant les positions respectives de la charge et de la pièce fléchie. — Cette proportionnalité est la même pour les flèches des courbures. Il s'agit d'en calculer une pour en déduire les autres. Ainsi une charge uniformément répartie sur un solide encastré à un bout, produit une certaine flèche, laquelle peut être reproduite par les 3/8^e du même poids; ou en d'autres termes, si le poids reste le même, la flèche, dans le premier cas, est égale à 3/8^e, et dans le second cas, égale à 1. — Cette même déduction peut avoir lieu pour les différentes positions du solide encastré ou posé librement.

La formule générale qui exprime la grandeur de la flèche (f) d'un solide prismatique, encastré à une extrémité, est :

$$f\text{ (flexion avec la charge à l'extrémité)} = \frac{(P + 3/8\ pl)l^3}{E.bh^3}$$

$$f\text{ (flexion avec la charge uniformément répartie)} = \frac{p.l^4}{E.bh^3}$$

(P est la charge; p le poids du mètre courant de la pièce; l la longueur; b la base et h la hauteur de la section; E est le coefficient d'élasticité.)

PROPOSITION VII. — La formule générale peut subir les modifications suivantes :

1° Si on néglige le poids du solide, on obtient : $f = \frac{Pl^3}{Ebh^3}$

(Notations comme ci-dessus.)

Digitized by Google

2° Si le solide prend la forme cylindrique, on obtient :

$$f = \frac{Pl^3}{Ed^4}$$

(d et le diamètre du cylindre ; E (fonte) = 1,764,000,000 ; E (fer) = 2940,000,000 ; E (bois). = 176,400,000.)

3° Si le cylinde est creux, on obtient : $f = \frac{Pl^3}{E(d^4 - d'^4)}$.

(d' est le diamètre intérieur ; les notations sont les précédentes ; la valeur de E est celle du n° 2°.)

(OBSERVATION. — Pour les tubes en fonte creux, la section carrée est la plus avantageuse à quantité égale de matière ; vient ensuite celle circulaire, rectangulaire et elliptique. — Galilée est le premier qui a fait la remarque que les tuyaux creux tels que les tiges des plantes, les os des animaux, résistent mieux à la courbure que s'ils étaient pleins.)

PROPOSITION VIII. — Dans les constructions civiles, on cherche généralement à éviter la flexion des pièces ; autre part, elle est nécessaire, comme dans la coupe des pièces de bois pour la marine ; dans ce cas, on trace les courbures sur des gabarits d'après le principe suivant :

Le rayon de courbure d'un solide fléchi est égal au carré de la demi-portée, divisé par trois fois la flèche de courbure.

---

§ 5. — Torsion.

DÉFINITIONS. — Les pièces des machines destinées à tourner opposent au mouvement une résistance dont l'effet est la *torsion;* on voit, lors de la mise en train de mécanismes, les roues motrices marcher quand les pièces éloignées sont encore en repos. Le mouvement fait donc faire un chemin à ces pièces, et comme elles sont fixes relativement au point où agit la résistance, le chemin est décrit autour de l'axe, et les pièces sont tordues. Cet effet a lieu dans les arbres des roues, dans les essieux, dans les tiges de sonde.

PROPOSITION I. — Les conditions d'équilibre des corps sou-

Digitized by Google

mis à la torsion sont déterminées par les principes suivants :

1° Les déplacements absolus de chaque section du corps tordu sont proportionnels à leur distance de l'axe de rotation.

2° Toutes les molécules qui se trouvaient sur une même ligne, ou rayon, passant par l'axe avant la torsion, se retrouvent sur le même rayon après la torsion.

3° Les pièces soumises dans les machines à la torsion ont aussi à résister à la flexion ; on calcule séparément les dimensions relatives à chacune de ces forces, et on en adopte naturellement la plus grande.

PROPOSITION II. — Comme nous l'avons vu précédemment déjà, le coefficient d'élasticité calculé pour l'extension s'est trouvé modifié pour la compression et la flexion. Cette modification n'a pas pu être appliquée à la torsion, pour laquelle des expériences spéciales ont déterminé le coefficient, qu'on appelle aussi coefficient d'élasticité de glissement (*E*). Ce coefficient est l'effort imaginaire en poids, capable de produire une torsion de 1 mètre sur un cylindre qui aurait 1 mètre de hauteur et 1 mètre carré de base.

Voici les valeurs de ce coefficient classées dans l'ordre alphabétique :

Acier fondu fin	10,000,000,000
Acier ordinaire	6,000,000,000
Bronze	1,066,000,000
Chêne	403,000,000
Cuivre	4,000,000,000
Fer doux	6,000,000,000
Fer en barres	6,660,000,000
Fonte	2,000,000,000
Sapin	430,000,000

PROPOSITION III. — La formule qui établit les conditions d'équilibre de la torsion d'un arbre circulaire est le résultat de l'observation. On forme l'équation qui détermine le diamètre à donner de deux manières.

D'après la première manière, on considère la force brute transmise à l'arbre et le nombre des tours de roue, et on a pour valeur du diamètre en centimètres :

Digitized by Google

$$d^3 = \frac{c.P}{n}.$$

(P est la force en kilogrammes transmise en une minute à l'arbre; n le nombre de tours de roue en une minute; c le coefficient égal; c (fer) = 0,41; c (fonte) = 0,63; c (bois) = 20,0.)

Dans la seconde manière, on considère la force de torsion qui est la charge (P) agissant au bras de levier (m), et on a pour valeur du diamètre :

$$d^3 = \frac{Pm}{c};$$

c (fonte ou fer) = 30,000 à 250,000; c (bois) = 20,000 à 43,000.

PROPOSITION IV. — La formule générale ci-dessus se modifie du moment que les arbres des machines dont la charge est appliquée au milieu peuvent recevoir des chocs.

L'arbre carré aura pour expression :

$$h^3 = \frac{Pl}{625,000} \text{ (fonte)};$$

$$h^3 = \frac{Pl}{500,000} \text{ (fer)};$$

$$h^3 = \frac{Pl}{50,000} \text{ (bois)}.$$

L'arbre cylindrique aura pour expression :

$$d^3 = \frac{Pl}{388,160} \text{ (fonte)};$$

$$d^3 = \frac{Pl}{295,000} \text{ (fer)};$$

$$d^3 = \frac{Pl}{29,500} \text{ (bois)};$$

(h est le côté du carré; d le diamètre; P est la charge; l la portée.)

(OBSERVATION. — Dans les arbres creux on fait le diamètre interne égal aux 3/5 du diamètre extérieur; l'épaisseur de la fonte est égale à 1/5 du diamètre extérieur.)

Digitized by Google

PROPOSITION V. — Le diamètre des tourillons peut être calculé par l'équation suivante :

$$d^3 \text{ (tourillon en fonte des roues hydrauliques)} = \frac{Pl}{368150};$$

$$d^3 \text{ (tourillon ordinaire en fonte, graissé)} = \frac{P}{7360000};$$

$$d^3 \text{ (tourillon en fer, graissé)} = \frac{P}{598000}.$$

Des constructeurs admettent aussi les formules suivantes pour la détermination des diamètres des tourillons :

d (fer) $= 0{,}6 \sqrt[3]{P}$ (pour les machines à vapeur) ;

d (fer) $= 0{,}4 \sqrt[3]{P}$ (pour les fortes machines sans choc ni réaction).

(OBSERVATION. — Il résulte de ces équations que la résistance des tourillons est proportionnelle au cube de leur diamètre ; généralement on fait le diamètre des tourillons égal à leur longueur. Les coefficients ci-dessus sont calculés pour le fer ; en les multipliant par 1,16 on obtient le diamètre des tourillons en fonte.)

PROPOSITION VI. — Le diamètre des essieux des voitures :

$$= d^3 \text{ (fer de première qualité)} = \frac{Pl}{700000}.$$

(P est la charge qui pèse sur l'essieu ; l la longueur de l'essieu.)

Pour diminuer autant que possible le frottement, on admet la règle pratique :

Diamètre des essieux....

Tilbury ..	3	centimètres.
Wagon...	6	—
Charrette.	7	—
Diligence.	7	—

PROPOSITION VII. — Dans ce qui précède on a cherché à connaître les dimensions qui seraient à donner aux pièces pour qu'elles ne se tordent pas. Mais quand une fois elles ont subi une torsion, il peut être utile de connaître la valeur de l'angle (a) de torsion, lequel est situé dans le plan d'attache de l'effort (P) agissant sur un arbre :

Digitized by Google

$$a = \frac{Pml}{E'}.$$

(OBSERVATION. — Dans ce cas l'arbre est considéré comme encastré par l'une de ses extrémités et tordu à l'extrémité libre. Mais si l'arbre est tordu par la force motrice, il faut le considérer comme encastré au point où agit la résistance.)

(*m* est le bras de levier de l'effort *P*; *l* la longueur de l'arbre; *E'* est le coefficient de torsion spécial, calculé pour cette formule :

E' (section circulaire, fer.) = 595082850 d^4.
E' (section circulaire, acier.) = 577440800 d^4.
E' (section carrée, fer.) = 993575000 b^4.
E' (section carrée, acier.) = 980294660 b^4.)

---

§ 6. — Stabilité des constructions.

Les données d'expérience et les formules relatives à la stabilité et aux dimensions proportionnelles des constructions se trouvent classées, d'après l'ordre alphabétique, ainsi qu'il suit :

Abaissement du sommet d'un arc ou cintre en charpente de bois ou de fer, à la suite de l'application d'une charge. — Cet abaissement dépend de la répartition de la charge; il est

$= 0{,}051 \frac{P.r^3}{E.a.b^3}$ quand la charge est répartie uniformément;

$= 0{,}222 \frac{P.r^3}{E.a.b^3}$ quand la charge est suspendue au sommet.

(*P* est le poids total de l'arc; *r* son rayon; *a* la largeur, *b* la hauteur de la section de l'arc; *E* le coefficient spécial d'élasticité égal à 500,000,000 pour la charpente et à 5,000,000 pour la fonte et le fer.)

Arche en arc de cercle. — Le rayon de cette arche :

$$= \frac{l^2 + m^2}{2m}.$$

(*l* est la largeur de la demi-ouverture de l'arche et *m* sa hauteur, laquelle est au minimum 1/8 de l'ouverture.)

Digitized by Google

Batardeau. — Son épaisseur $= 0{,}865\ (h - h')\ \sqrt{\frac{1000}{p'}}$.

(*h* est la hauteur du batardeau; *h'* la hauteur du niveau d'eau en contre-bas de l'assise supérieure du revêtement; *p'* le poids du mètre cube de maçonnerie employée, compté ordinairement à raison de 2250 kilogrammes.)

Cintre en charpente de bois ou de fer. — L'équarrissage de ce cintre peut être fixé ainsi :

1° Pour une section rectangulaire (ab^2),

$= \frac{P}{R}\ (0{,}6b + 0{,}27r)$; dans ce cas, la charge est répartie uniformément sur le cintre;

$= \frac{P}{R}\ (0{,}6b + 0{,}55r)$; dans ce cas, la charge est suspendue au sommet du cintre.

2° Pour une section circulaire (r^3),

$= \frac{P}{R}\ (0{,}13\ r' + 0{,}06\ r)$; dans ce cas, la charge est répartie uniformément sur le cintre;

$= \frac{P}{R}\ (0{,}2r' + 0{,}21r)$; dans ce cas, la charge est suspendue au sommet du cintre.

(*P* est le poids total du cintre; *R* le plus grand effort de compression que peut supporter un mètre carré de la matière dont l'arc est composé = 300,000 (charpente); = 5,000,000 (fer fondu ou forgé); *r* est le rayon de l'arc; *r'* le rayon de la section circulaire de l'arc; *a* la base, *b* la hauteur de la section rectangulaire.)

Clef de voûte. — Son épaisseur $= \frac{5d + 46^{m}\ 77}{144}$.

(*d* est le diamètre du plein cintre, ou de l'arc supérieur, si la voûte est surbaissée.)

Dans une *voûte en plein cintre*, l'épaisseur ne doit jamais être au-dessous de 1/17 du diamètre de l'intrados.

Couverture. — Voir *Toit.*

Digitized by Google

Culée. — Voir *Voûte.*

Ferme. — En admettant pour un même système de ferme droite en charpente de bois, comme limite de portée 14 mètres et 24 mètres, on obtient les équarrissages suivants des pièces de cette ferme, qui est capable de supporter toute espèce de couvertures :

Aiguille pendante en fer ...	0^m02 à 0^m03
Arbalétrier inférieur	0^m30 à 0^m44
Arbalétrier supérieur.....	0^m20 à 0^m26
Contre-fiche.....	0^m10 à 0^m15
Entretoise.....	0^m22 à 0^m30
Tirant en fer	0^m05 à 0^m06

Fondation de mur de revêtement. — Voir *Mur de revêtement.*

Mur. — En dehors des règles qui seront indiquées ci-après, on donne aux murs des édifices de tout genre une épaisseur de 1/8 de la hauteur dans les cas de grande stabilité; une épaisseur de 1/10 de la hauteur pour la stabilité moyenne; 1/12 de la hauteur est la limite extrême de la stabilité.

Mur de face de bâtiment d'habitation simple. — L'épaisseur $= \frac{2l + h}{48} + 0^m25$.

Pour le bâtiment double. — L'épaisseur $= \frac{l + h}{48}$.

(l est la largeur du bâtiment; h la hauteur du mur.)

Les épaisseurs de ces murs, pour les maisons de largeur moyenne et pour des hauteurs d'étage de 4 mètres, sont :

Aux fondations.....	0^m73 à 0^m97.
Au niveau des caves....	0^m57 à 0^m81.
Au rez-de-chaussée	0^m48 à 0^m65.
Au premier étage.....	0^m43 à 0^m54.
Au deuxième étage.....	0^m40 à 0^m48.
Au troisième étage.....	0^m30 à 0^m42.

Digitized by Google

Mur d'enceinte.—L'épaisseur au fond $= \frac{h}{10}\left(\frac{l}{\sqrt{l^2+h^2}}\right)$.

(h est la hauteur du mur; l sa longueur.)

Mur de refend de bâtiment d'habitation. — L'épaisseur

$$= \frac{l+h}{36} + 0{,}013.n.$$

(l est la largeur du bâtiment; h la hauteur du mur; n le nombre des étages.)

Les épaisseurs de ces murs, pour les maisons de largeur moyenne et pour des hauteurs d'étage de 4 mètres, sont :

Aux fondations.....	0^m70 à 0^m80.
Au niveau des caves....	0^m50 à 0^m60.
Au rez-de-chaussée	0^m35 à 0^m40.
Au troisième étage.....	0^m20 à 0^m30.

Mur de revêtement. — L'épaisseur à donner à sa base pour qu'il résiste à la poussée des terres $= 0{,}285\ (h + h')$.

(h la hauteur du mur en maçonnerie; h' la hauteur de la surcharge; h' est compté depuis o jusqu'au double de h.)

On donne au mur en pierres sèches une valeur de 5/4 de celle indiquée par la formule précédente.

La profondeur de la fondation du mur de revêtement pour empêcher le glissement $= 1{,}4$ tangt. $1/2\ a \sqrt{\frac{2p'}{p}}$.

(p' est l'excès de la poussée sur le frottement; p le poids du mètre cube de terre; a est l'angle complémentaire du talus naturel des terres. — Voir le mot poussée des terres.)

Il est avantageux d'incliner les murs de revêtement vers les terres de 1/6 de leur hauteur, ou de leur donner une courbure de 20 mètres de rayon.

Indépendamment des données ci-dessus, on admet, comme règle pratique, de donner à la base des murs de revêtement les dimensions suivantes :

Digitized by Google

Murs de fortifications	$0^m35\ h.$
Murs de quais en moellons..	$0^m4\ h.$
Murs de quais en briques...	$0^m4\ h.$
Murs courbes ou inclinés...	$0^m2\ h.$
Murs en pierres sèches.....	$0^m5\ h.$

Pan de bois. — Il doit être élevé sur un socle en bonne maçonnerie de 1 mètre de hauteur. Les dimensions de ce pan de bois, au rez-de-chaussée d'un bâtiment de quatre à cinq étages, sont :

Sablières.....	0^m18 à $0^m32.$
Poteaux.....	0^m21 à $0^m32.$
Décharges.....	0^m18 à $0^m21.$
Poteaux de remplissage.	0^m16 à $0^m18.$

Ces dimensions peuvent être réduites de moitié pour les cloisons de distribution ; elles peuvent être réduites de 0^m027 au dernier étage.

Pile. — La poussée de la voûte s'équilibre sur la pile, qui n'est sujette qu'à la compression, à moins qu'on n'en fasse une pile-culée, capable, — comme son nom l'indique, — de résister à la poussée si une arche venait à se rompre ; dans ce cas, la ruine entière de l'ouvrage serait inévitable. — La détermination de l'épaisseur de la pile devient arbitraire ; elle dépend de la nature du sol, des affouillements, du mode adopté pour les fondations, de la faculté de rétrécissement de la rivière, quand il s'agit d'un pont, ou de l'économie de l'emplacement quand il s'agit de voûtes d'un édifice.

Plancher. — La hauteur d'une solive est admise par Rondelet à 1/24 de la portée.

La règle de Tredgold est la suivante, en ce qui concerne la hauteur (h) d'une solive :

$$h\ (\text{sapin}) = 0{,}036 \sqrt[3]{\frac{c^2}{a}}.$$

$$h\ (\text{chêne}) = 0{,}037 \sqrt[3]{\frac{c^2}{a}}.$$

(c est la portée du plancher ; a la longueur de la solive.)

Digitized by Google

Plancher en fer. — La longueur des solives est ordinairement de 6^m 60; la portée de 6^m; l'écartement de 0^m 75; l'équarrissage de 165 millimètres sur 9 millimètres. Les entretoises ont un équarrissage de 11 millimètres sur 11 millimètres. Le poids du fer employé par mètre carré de plancher est de 18 kilogrammes. Un mètre carré de plancher peut porter 500 kilogrammes; un mètre courant de solive : 370 kilogrammes; comme charge habituelle du plancher en fer on admet 400 kilogrammes par mètre carré, y compris le poids propre du plancher.

Plate-bande en pierre de taille, taillée en voussoir. — L'épaisseur $e = \frac{l+5}{14}$; la distance du point de concours de tous les plans de joint à l'intrados de la plate-bande

$$= 3\,\frac{(l^2 - e^2)}{2e}.$$

(l est la moitié de la largeur de l'espace à couvrir; e l'épaisseur de la plate-bande.)

Poussée des terres. — Cette pression est déterminée en fonctions de l'angle de frottement de la terre, qui est le talus. Cet angle ou ce talus se forme naturellement quand on jette la terre sur un tas. Il est de 39 degrés pour la terre sèche; de 43 degrés pour la terre humide; de 31 degrés pour le sable fin. Cette poussée

$$= 1/2\, h^2.l.p.\ \text{tangt.}^2\,(45^\circ - a/2).$$

(h est la hauteur du mur; l sa longueur; p la densité de la terre; a l'angle du talud.)

Poussée d'un arc ou d'un cintre en charpente. — Cette poussée dépend de la répartition de la charge; elle est égale à :

0,16 P, pour une charge répartie uniformément sur la circonférence du cintre;

0,22 P, pour une charge répartie uniformément par rapport à une ligne horizontale;

0,32 P, pour une charge suspendue au sommet.

(P est le poids total porté par l'arc.)

Digitized by Google

Poussée d'une voûte. — Voir *Voûte.*

Tirant en fer. — Le profil qu'il faut lui donner pour qu'il puisse résister aux effets de contraction produits par le froid est $= \frac{0{,}63\ P.c}{h\ (12{,}000{,}000 - 224000\ (t - t'))}$.

(*P* est la charge qui pèse sur l'arbalétrier; *c* la demi-portée de la charpente; *h* la flèche ou la hauteur du faîte au-dessus du tirant; *t* et *t'* la plus haute et la plus basse température.)

Toit. — Les données d'expérience relatives à la couverture d'un toit sont les suivantes :

NATURE DES MATÉRIAUX de la couverture du toit.	INCLINAISON du toit.	POIDS du mètre carré de la couverture.	QUANTITÉ de bois de la charpente par mètre carré de couverture.
	degrés.	kilogrammes.	mètres cubes.
1 Ardoises	34 à 45	38	0,036
2 Bitume	18 à 21	25	0,036
3 Cuivre	20 à 25	6 à 7 (de 6 à 7 dix-millim. d'épaiss.)	0,040
4 Plomb	16 à 20	40 à 53 (de 3 à 4 millim. d'épaiss.)	0,060
5 Tôle	20 à 25	7 à 8 (de 7 dix-millim. d'épaiss.)	0,041
6 Tuiles creuses maçonnées	27 à 31	136	0,068
7 Tuiles creuses non maçonnées	21 à 27	85	0,038
8 Tuiles plates	31 à 45	60	0,063
9 Zinc	15 à 20	9	0,043

(OBSERVATION. — La surcharge que supportent les toits des maisons dans nos climats provient de la neige, dont le poids maximum atteint 40 kilogrammes par mètre carré. Les dimensions ci-dessus sont calculées en conséquence.)

Vides que laissent entre eux les matériaux de construction. — Ces vides peuvent être appréciés ainsi qu'il suit, dans l'ordre alphabétique :

Digitized by Google

Eclats de silex tassés dans une caisse	0,40
Grosses pierres en tas irréguliers	0,46
Moellons accumulés sans ordre	0,51
Moellons rangés serrés dans une caisse	0,40
Pavés arrondis de différentes dimensions rangés dans une caisse.	0,29
Pavés arrondis tassés fortement	0,26
Pierres anguleuses petites, de grosseur inégale en tas	0,46
Pierres arrondies de grosseur différente mélangées à des pierres angulaires en tas	0,39
Pierres de taille rangées en petits tas	0,27
Pierres en tas, éclats de pierres	0,50
Sable fin sec fortement tassé	0,33
Sable humide	0,40
Sable quartzeux fin, sec	0,43

Voûte. — Dimensions principales se rapportant à une voûte maçonnée et chargée d'un pavage ou d'un empierrement.

DIAMÈTRE de la voûte.	ÉPAISSEUR à la clef.	ÉPAISSEUR DE LA CULÉE OU DU PIÉDROIT; sa hauteur au-dessus des fondations étant égale à :			
		0m,00	1m,00	3m,00	8,m00
mètres.	mètres.	mètres.	mètres.	mètres.	mètres.
Voûte en plein cintre.					
1	0,36	0,40	0,50	0,65	0,80
2	0,40	0,45	0,70	0,85	1,10
5	0,50	0,65	1,00	1,30	1,70
10	0,67	1,20	1,50	2,00	2,60
20	1,04	2,30	2,65	3,10	4,00
50	2,06	5,15	5,40	6,10	7,20
Voûte en anse de panier surbaissée au tiers.					
1	0,38	0,65	0,75	0,85	1,00
2	0,43	0,90	1,05	1,15	1,35
5	0,61	1,55	1,85	2,10	2,40
10	0,81	2,10	2,50	3,05	3,70
20	1,35	3,20	3,80	4,50	5,30
50	2,85	6,70	7,40	8,20	9,60

La culée supporte et la moitié du poids d'une arche et la poussée de l'arche; donc elle doit résister à l'écrasement et au renversement. La condition qui assure la stabilité contre l'écrasement est très-inférieure à celle contre la poussée ; on

Digitized by Google

ne détermine alors son épaisseur qu'en vue de cette dernière force.

Ordinairement la rupture d'une voûte par un excès de la poussée a lieu quand les parties supérieures de la voûte descendent et poussent les parties inférieures en dehors de l'arche. Cette rupture se produit dans une voûte en plein-cintre vers l'angle de 60 degrés avec la verticale; dans une voûte en anse de panier vers l'angle de 50 degrés à partir de la naissance de la voûte; enfin dans une courbe en arc de cercle la rupture se produit à la naissance de la voûte.

Digitized by Google

CHAPITRE VI.

HYDRAULIQUE.

§ 1. — Division de l'hydraulique.

Définitions. — La science de l'*hydraulique* comprend : l'*hydrostatique*, qui traite de l'équilibre des fluides, et l'*hydrodynamique*, qui fixe les conditions de leur mouvement. Les considérations sur l'équilibre et sur le mouvement des fluides s'appliquent, à leur tour, aux fluides incompressibles : aux liquides ; et aux fluides compressibles : aux gaz, et principalement à l'air, et elles nous conduisent successivement à l'étude des machines à eau et à gaz. Comme questions accessoires, nous avons à examiner le mesurage de la vitesse et de la dépense des fluides ; car c'est sur l'appréciation de ces valeurs que repose l'établissement des ouvrages précités.

§ 2. — Équilibre des liquides.

Proposition I. — L'équilibre des liquides est déterminé par les conditions suivantes : — 1° La pression exercée sur un liquide est égale à la contre-pression. — 2° Dans un liquide en équilibre, la pression est la même pour tous les points situés sur un plan horizontal. — 3° La pression sur une unité de surface en un point quelconque d'un liquide est égale à la pression en un autre point au-dessus du premier, et augmentée du poids d'une colonne liquide, dont la hauteur serait la différence de niveau entre les deux points, et dont la base serait l'unité de surface. — 4° La différence des niveaux d'un liquide

Digitized by Google

dans deux vases communiquants est égale à la hauteur d'un cylindre du liquide en question, dont la base serait l'unité de surface, et dont le poids serait égal à la différence des pressions rapportées à l'unité de surface. — Le corollaire de cet exposé est le principe d'égalité de pression.

PROPOSITION II. — Le principe d'égalité de pression, principe de Pascal, est énoncé ainsi : « La pression exercée sur un point d'un liquide se transmet à toutes les parties du liquide, proportionnellement à l'étendue de leur surface. » — C'est sur ce principe que se base la construction des presses hydrauliques. Dans ces presses, il y a deux parties distinctes : une pompe aspirante et foulante qui donne la pression, et un plateau à piston qui la reçoit pour la transmettre aux corps à comprimer. Si la section du piston de la pompe est un centième de la section du piston à plateau, un effort d'un kilogramme par la pompe peut produire une pression de 100 kilogrammes. Comme avec un levier un homme peut produire dans les presses ordinaires un effort de 300 kilogrammes, le piston à plateau sera poussé avec une puissance de 30,000 kilogrammes.

PROPOSITION III. — Les pressions exercées par un liquide sur la surface d'un corps qui plonge ont une résultante verticale : *la poussée du liquide*, agissant de bas en haut, et égale au poids du liquide qui occuperait la place du corps; cette résultante passe par le centre de gravité du liquide déplacé. — Cette proposition, connue sous le nom de *principe d'Archimède*, s'énonce aussi de la manière suivante : « Un corps plongé dans un liquide y perd une portion de son poids égale au poids du liquide déplacé. »

Il est évident que le centre du liquide déplacé coïncide avec le centre du corps plongé dans le liquide si ce corps est homogène. — Si la pression est plus grande que le poids du corps plongé dans le liquide, celui-ci monte, et pour que l'équilibre existe, il faut naturellement que le poids du corps soit égal au poids du liquide déplacé, et que le centre de gravité du corps se trouve sur une même ligne verticale que le centre

Digitized by Google

de gravité du liquide déplacé. Si le corps se trouvait incliné, ces deux forces : son poids et la poussée, agiraient sur lui pour le faire redresser. — Ici encore se présentent l'équilibre stable et l'équilibre instable.

Telles sont les conditions principales du repos des liquides ou de l'hydrostatique. Nous examinerons maintenant la seconde partie du travail : l'hydrodynamique, comprenant les conditions du mouvement des liquides, et nous commencerons par le mesurage de la vitesse de l'eau.

---

§ 3. — Mesurage de la vitesse de l'eau.

Définitions. — Il existe plusieurs méthodes pour mesurer la vitesse de l'eau. On y jette des corps légers, et on observe avec une montre à seconde l'espace parcouru. Ce procédé ne s'applique qu'à la surface. Pour évaluer la vitesse vers le fond du courant, on emploie un instrument appelé *moulinet de Woltmann*, comprenant des ailes de moulin attachées à un compteur. On arrive aussi à un résultat satisfaisant par l'observation de l'inclinaison d'un fil plongé dans le courant et auquel on attache une boule; on peut remplacer cette boule par une plaque, qui, en recevant le choc de l'eau, fait plier un ressort. — Ces méthodes sont employées pour les canaux et pour les rivières. — Dans ces dernières la vitesse est très-variable, surtout quand leur régime n'est pas encore établi, c'est-à-dire quand il ne passe pas la même quantité d'eau, dans le même temps, par toutes les sections faites perpendiculairement au cours du fleuve, et quand le niveau ne reste pas le même. Les différences des pentes, les inégalités du fond, les sinuosités du lit changent à chaque instant la marche de l'eau, et produisent des remous et des vitesses en sens inverse du courant. — En dehors de ces irrégularités, il se présente encore de notables différences entre les vitesses à la surface et au fond.

Les ouvertures par lesquelles s'opère l'écoulement de l'eau

Digitized by Google

s'appellent des *orifices*, dont il y a trois sortes en usage dans les usines : les *orifices* qui débouchent dans l'*air libre;* ceux qui débouchent dans un *réservoir inférieur* et appelés *orifices noyés;* enfin les *orifices en déversoirs*, dans lesquels l'eau passe par dessus une vanne ou un barrage, dont la crête s'appelle *seuil.* — L'orifice est en *mince paroi* si la veine fluide se détache de cette paroi; si la veine fluide suit les parois, ou si l'orifice est muni d'un tube additionnel, d'un *ajutage*, on dit que le liquide s'écoule à *gueule-bée* ou à *plein tuyau.* — Les orifices sont souvent accompagnés d'un canal, qui, dans ce cas, prend le nom de *coursier.*

PROPOSITION I. — Il existe une certaine corrélation entre la vitesse à la surface, au milieu et au fond d'un canal ou d'une rivière; on a cherché à la comparer à des courbes, à une ellipse par exemple; la vitesse irait en augmentant jusque vers le milieu, et à partir de là, elle diminuerait jusqu'au fond. — On admet aussi que la vitesse vers le fond d'un canal est égale à la double vitesse moyenne, moins la vitesse à la surface.

L'expérience a établi une corrélation plus intime entre ces différentes vitesses; pour obtenir la vitesse moyenne, dont on a besoin dans la pratique, il suffit de mesurer la vitesse à la surface, et de la multiplier avec le coefficient suivant :

VITESSE à la surface par seconde. — mètres.	COEFFICIENT DE RÉDUCTION pour obtenir la vitesse moyenne. —
0,10	0,76
1,50	0,79
1.00	0,81
1,50	0,83
2,00	0,85
3,00	0,87
3,50	0,88
4,00	0,89

PROPOSITION II. — On est allé plus loin, et on a déduit de la pente, de la surface mouillée et du périmètre mouillé la vitesse; la formule suivante l'indique : $V = 56{,}86 \sqrt{\frac{si}{pl}}$.

(*p* est le périmètre mouillé, ou contour du profil d'un cours d'eau

Digitized by Google

jusqu'au niveau de l'eau; s la surface mouillée; l la longueur du cours d'eau, correspondant à la pente; i la pente.)

PROPOSITION III. — La vitesse de l'eau a des limites que la nature a assignées; ainsi le fond des canaux et des rivières serait constamment emporté s'il n'était pas assez résistant; la vitesse ne dépasse pas les limites suivantes :

NATURE du fond.	VITESSE AU FOND et vers les parois, par seconde.
Terre	0,08
Argile ramollie	0,15
Cailloux	0,62
Sable	0,30
Gravier	0,60
Pierres cassées	1,20
Schistes ou agglomérats	1,50
Roches	1,80
Roches dures	3,00

PROPOSITION IV. — L'écoulement de l'eau dans l'air suit la loi connue sous le nom de *théorème de Torricelli :* « Les molécules liquides, en sortant d'un orifice, ont la même vitesse que si elles étaient tombées librement dans le vide, d'une hauteur égale à celle du niveau au-dessus du centre de l'orifice. »

Le *corollaire* de ce théorème peut être énoncé ainsi : « La vitesse d'écoulement pour tous les liquides indistinctement dépend de la profondeur de l'orifice au-dessous du niveau. — Les vitesses d'écoulement sont, à différentes profondeurs, comme les racines carrées des profondeurs des orifices au-dessous du niveau. »

La preuve pratique de ce théorème se trouve dans les jets d'eau, dont la hauteur atteindrait le niveau du réservoir si, dans leur course de ce réservoir jusqu'à l'orifice, les molécules n'éprouvaient pas une résistance contre les parois des tuyaux, et si l'air atmosphérique n'opposait pas sa résistance au libre écoulement. La vitesse des jets d'eau est de 0^m2 à 0^m3 par seconde dans les tuyaux.

Digitized by Google

PROPOSITION V. — La vitesse d'écoulement de l'eau en mince paroi est, d'après le théorème de Torricelli,

$$V = \sqrt{2gh} \text{ d'où } h = \frac{V^2}{2g}.$$

(*h* est la hauteur de la charge au milieu de l'orifice.)

Pour l'écoulement à gueule-bée la vitesse est réduite à $V' = 0{,}82\ V = 0{,}82\ \sqrt{2gh}$, d'où l'on conclut que la hauteur (h') à laquelle l'eau peut s'élever dans un ajutage =

$$h' = \frac{(0{,}82\ V)^2}{29} = 0{,}67\ h.$$

PROPOSITION VI. — La pression exercée par une veine fluide sur une surface plane perpendiculaire est proportionnelle à la section de la veine et au carré de la vitesse d'écoulement. Si la surface est inclinée, la pression se décompose en deux forces, l'une perpendiculaire au plan, l'autre parallèle; cette dernière n'a aucun effet. Cette loi s'applique également à une veine gazeuse.

---

§ 4. — Dépense d'eau.

PROPOSITION I. — La *dépense théorique* est calculée d'après la loi de la chute des corps, ainsi que nous l'avons vu pour la vitesse d'écoulement; on y néglige la contraction de la veine fluide. Il se présente trois cas dans cet écoulement :

1° Si l'orifice est en mince paroi, la dépense en une seconde,

$$D = l.e\ \sqrt{2gh}.$$

(*l* est la largeur de l'orifice; *e* sa hauteur ou l'épaisseur de la lame d'eau; *h* est la charge d'eau sur le centre de l'orifice.)

2° Si l'orifice est noyé, il faut déduire de la hauteur *h* la hauteur inférieure h'; on obtient alors $D = l\,e\ \sqrt{2g(h-h')}$.

3° Enfin si l'orifice est en déversoir $D = lh\ \sqrt{2gh}$. — Dans ce cas, l'épaisseur de la lame d'eau devient égale à la charge

Digitized by Google

d'eau qui n'est plus comptée au centre de la lame, mais jusque sur le seuil, et mesurée en un endroit où la dénivellation, — qui se produit près du seuil, — n'est pas encore sensible.

PROPOSITION II. — La *dépense réelle* ou *effective* est celle qu'on obtient en multipliant la dépense théorique par un coefficient appelé *coefficient de contraction*. La veine fluide est contractée à la suite de la convergence des divers filets qui la composent et qui arrivent à l'orifice avec des vitesses différentes. On contre-balance les effets de la contraction par des *ajutages*, qui sont des tuyaux de diverses formes, s'ajustant aux orifices en mince paroi. — La dépense est d'autant plus grande que la contraction est faible. — La contraction est complète quand l'orifice est éloigné des côtés et du fond du réservoir; dans ce cas, le coefficient moyen est 0,6. Elle est incomplète si l'orifice est placé sur une des parois; s'il en forme le prolongement, le coefficient est alors pour un orifice rectangulaire $= c\left(1 + 0{,}152\frac{n}{P}\right)$; pour un orifice circulaire

$$= c\left(1 + 0{,}128\frac{n}{P}\right).$$

(*n* est la portion du contour de l'orifice sur laquelle la contraction est nulle; *P* est le périmètre mouillé.)

Si le déversoir a la même largeur que le canal, le coefficient est $= 0{,}4$. — Si l'orifice en déversoir est accompagné d'un coursier, le coefficient moyen est $= 0{,}3$.

APPLICATION. 1° — La dépense (*D*) d'un canal ou la jauge est = au profil multiplié par la vitesse (V); — la vitesse $= 57\sqrt{\frac{sp}{Pl}}$ — 0,07 mètres. par seconde.

(*s* la section du canal; *p* la pente; *l* la longueur correspondant à cette pente; *P* le périmètre mouillé.)

APPLICATION. 2° — Le problème précédent peut aussi se présenter d'une façon inverse, quand il s'agit de connaître le temps pendant lequel une dépense d'eau a lieu, comme cela

Digitized by Google

arrive dans les écluses. Au commencement de l'opération l'orifice n'est pas noyé; on cherche donc le temps nécessaire pour que le niveau de l'écluse arrive jusqu'au centre de l'orifice, qui alors se trouve noyé, et on cherche également le temps nécessaire pour élever ce niveau jusqu'à la hauteur du réservoir, afin que l'équilibre s'établisse; le temps total

$$t = \frac{S}{ms}\left(\frac{1}{\sqrt{2gh}} + 0{,}45\sqrt{h}\right)$$

(*s* est la surface du niveau du bassin; *h* la hauteur; *m* le coefficient de contraction.)

PROPOSITION III. — Dans les usines, le travail étant le même, la force motrice étant la même aussi, le débit de l'eau doit être constant, ou en d'autres termes, le *canal d'alimentation* doit être à *régime constant;* donc, la vitesse ou la pente et le niveau de l'eau doivent être constants. Pour arriver à ce dernier but, il s'agit de déterminer la vitesse moyenne, si les dimensions du canal sont données, — d'après la formule $D = s\,v$ (*s* section, *v* vitesse.) — La vitesse cependant ne doit pas dépasser celle indiquée dans le paragraphe précédent et que comporte la matière dont se compose le fond du canal.

C'est ainsi que cette formule générale se trouve déjà limitée; elle l'est encore davantage, par des données d'expérience qui peuvent se résumer ainsi : la profondeur d'eau doit être la moitié de la largeur du fond du canal en bois ou en pierres; si le canal est en terre, et si, par conséquent, les parois sont inclinées, la largeur au fond doit être égale à 5 fois la profondeur.

PROPOSITION IV. — Pour régulariser la force d'un cours d'eau on fait couler l'eau dans des vannes; voici les équations qui en déterminent les conditions d'établissement :

La masse d'eau débitée par une vanne $d = cbh\sqrt{2gH}$.

La largeur de la vanne peut être déduite de l'équation ci-dessus.

$$b = \frac{d}{c\,h\sqrt{2\,g\,H}}$$

(*b* est *h* sont les dimensions de l'orifice; *H* la hauteur de la chute;

Digitized by Google

$\sqrt{2h\,H}$ est la vitesse et c le coefficient; lequel coefficient est de 0,6 pour une vanne verticale et de 0,8 pour une vanne inclinée; le coefficient 0,6 se réduit à 0,55, quand deux vannes très-rapprochées sont ouvertes en même temps.)

PROPOSITION V. — Jusqu'à présent il n'a été question que du cas où la source produit de l'eau en abondance; mais il arrive aussi que la source en fournisse moins et d'une manière variable, que le niveau s'abaisse et que, par conséquent, la charge d'eau diminue. Dans cette circonstance, la formule devient plus compliquée. La voici, telle que M. Morin l'a établie d'après les expériences qu'il a dû entreprendre : le volume d'eau dépensé par un orifice, avec charge sur le sommet et avec niveau variable, est : $Q = 1{,}476\ m\ LE.\ t\ (\sqrt{h'} + \sqrt{h''''} + 4\sqrt{h''} + 4\sqrt{h'''} + 2\sqrt{h'''}.)$

(L est la largeur de l'orifice; E sa hauteur; m le coefficient de contraction; t l'intervalle des temps égaux pendant lesquels les niveaux ont les hauteurs h', h''; — il suffit dans la pratique de prendre 5 hauteurs.)

Cette formule s'applique aussi aux orifices en déversoir; on mesure alors les hauteurs de charge au-dessus du seuil du déversoir correspondant à des intervalles de temps égaux. — Il en est de même des orifices noyés et de ceux qui, libres d'abord, sont noyés ensuite; pour trouver la hauteur de chute (h) on mesure simultanément les hauteurs des niveaux d'amont et d'aval à des intervalles égaux; on calcule séparément la dépense de l'écoulement à l'air libre et on y ajoute celle qui a lieu quand l'orifice est noyé.

APPLICATIONS. — Le temps (t) nécessaire pour vider une écluse, un bassin, un réservoir :

$$t = \frac{0{,}45\ S}{m\ a}\ (\sqrt{H} - \sqrt{h_1})$$

(S est la surface du niveau du bassin; a celle de l'orifice; H et h les hauteurs du niveau au commencement et à la fin de l'observation; m est le coefficient de contraction.)

Le temps nécessaire pour remplir un bassin dont l'orifice est noyé, ce qui est le cas le plus ordinaire :

Digitized by Google

$$t = \frac{0{,}45\ SS'}{ma\ (S+S')}\ \sqrt{H'-h'}$$

(*S* et *S'* sont les surfaces des bassins supérieur et inférieur; *H'* et *h'* sont les hauteurs du niveau au-dessus du centre de l'orifice pris en haut et en bas.)

---

§ 5. — Machines pour élever l'eau.

DÉFINITIONS. — L'élévation de l'eau est un travail important pour les usages domestiques et pour les irrigations; il s'agit aussi de la sortir des mines. — Un grand nombre de machines ont été imaginées dans ce but, telles que les *chapelets*, la *vis d'Archimède*, la *roue élévatoire*, et dans lesquelles la force motrice agit directement sur les liquides. Dans les pompes, c'est l'atmosphère qui pèse sur l'eau et la fait monter. Les mécanismes pour produire le vide sont également très-nombreux.

Le travail utile dans les machines à élever l'eau est diminué considérablement par les circonstances attribuées au frottement des mécanismes, au frottement de l'eau contre les parois, aux chocs, enfin aux changements brusques dans les vitesses. C'est dans le but de diminuer ces pertes de travail qu'on a apporté de nombreux perfectionnements aux machines précitées et qu'on en imagine encore journellement.

En résumé, il n'y a pas de règle précise à indiquer dans le choix d'une de ces machines; il dépend de la facilité d'installation des moteurs dont on peut disposer; il s'agit aussi de savoir si la machine ne doit fonctionner que momentanément, ou si elle doit rester à poste fixe.

PROPOSITION I. — La force nécessaire pour mouvoir une pompe est donnée par des expériences pratiques; cette force consiste à vaincre la pression atmosphérique et les frottements; elle est égale à $f = 900\ d^2\ hv$.

(*d* est le diamètre du piston; *h* la hauteur à laquelle il faut élever l'eau, et *v* la vitesse.)

Généralement la force, la hauteur et la vitesse sont données;

Digitized by Google

avec ces trois éléments on trouve le diamètre du piston, et on en déduit le volume d'eau ou la capacité de chaque coup de piston, moins les pertes provenant de fuites et évaluées à 3 p. 0/0 et 4 p. 0/0. — Ainsi on obtient :

$$d^2 = \frac{f}{900\,hv} \quad \text{d'où} \quad d = \sqrt{\frac{f}{900\,hv}}.$$

PROPOSITION II. — L'évaluation de l'effet utile des divers moteurs employés pour monter l'eau se trouve résumée dans les deux tableaux ci-dessous.

DÉSIGNATION des machines d'épuisement, mues par des hommes ou par des chevaux, pendant 8 heures dans la journée de 24 heures.	EFFET UTILE en kilogrammes-mètres.
(*Travail de l'homme.*)	
Baquetage avec des seaux	46000
Chapelet incliné avec une manivelle	68000
Chapelet vertical avec une manivelle	115000
Ecopes ordinaires	48000
Ecopes hollandaises	120000
Manége des maraichers	200000
Pompe ordinaire	207000
Puits avec corde et poulie	77000
Puits très-profond avec treuil	170000
Roue à tympan	221000
Seaux à bascule à 1 mètre de profondeur	65000
Vis d'Archimède	100000
(*Travail du cheval.*)	
Chapelet incliné	449000
Chapelet vertical	647000
Manége des maraichers	1116000
Noria	671000

DÉSIGNATION des machines d'épuisement mues par des moteurs inanimés.				RAPPORT de l'effet utile à l'effet théorique (égal à 1).
			mètres	
Bélier hydraulique	hauteur de chute	0,6		0,20
		2,0		0,77
		3,0		0,83
Chapelet incliné avec roue à aubes				0,70
Machine à colonne d'eau				0,50
Pompe d'épuisement	avec machine à vapeur			0,66
	avec roue hydraulique			0,32
Roue à godets et à seaux				0,60
Roue à palettes emboîtée dans un coursier circulaire				0,70
Vis d'Archimède				0,73

Digitized by Google

§ 6. — Roues hydrauliques.

Définitions. — Les roues hydrauliques sont, comme leur nom l'indique, mues par l'eau, que celle-ci coule sur des plans inclinés, ainsi que cela a lieu dans les canaux, les rivières, les coursiers, ou qu'elle tombe verticalement. Ces roues datent de l'antiquité ; elles sont employées chez tous les peuples qui s'occupent d'industrie. — On admet trois espèces de roues à eau : celles dont les *palettes planes ou courbes* sont poussées par l'eau dans des coursiers circulaires ou librement dans la rivière ; celles à *augets* qui reçoivent l'eau, laquelle agit par son propre poids ; enfin, les *roues horizontales ou turbines.*

Tous ces systèmes ont leurs avantages comme leurs inconvénients. Les roues à *palettes planes* sont usitées pour les chutes d'eau de 1 m à 2 m 50. Les roues à *aubes courbes* peuvent marcher à des vitesses considérables ; leurs dimensions sont moindres que celles des palettes planes établies pour les petites chutes d'eau ; elles conviennent aux pays de plaine. Les roues à *augets* s'adaptent aux chutes d'eau au-dessus de 3 m et n'exigent pas une grande largeur. Les *turbines* sont applicables à toutes les chutes d'eau indistinctement ; elles peuvent marcher sous l'eau à de très-grandes profondeurs et être placées, dès lors, au niveau des plus basses eaux ; elles occupent peu d'espace ; enfin, elles donnent, parmi toutes les roues hydrauliques, le plus grand effet utile.

Trois questions se présentent dans l'examen des effets pratiques des roues hydrauliques, savoir : quelle est l'action ou la force d'un cours d'eau sur ces roues ; en second lieu, quelle est la diminution qu'éprouve cette force ou ce travail moteur, en se convertissant en travail utile ; enfin, quelles sont les conditions d'établissement de ces roues, la dépense d'eau étant donnée. — C'est sous ces trois points de vue que nous allons étudier ce problème.

Proposition I. — La force d'un cours d'eau destiné au mouvement des roues hydrauliques verticales ou horizontales,

Digitized by Google

est déterminée par la formule générale : $f = \frac{1000\,dh}{75}$.

(f la force absolue en chevaux-vapeur d'un cours d'eau; d la dépense ou le volume d'eau en mètres cubes par seconde; h la hauteur de la chute d'eau.)

Cette équation peut être résolue de deux manières, car la chute d'eau étant donnée, il s'agit de calculer l'effet qu'elle produit ; dans le deuxième cas, étant donné le travail à fournir, il faut calculer le volume d'eau à employer. Cette force (f) est plus ou moins utilisée suivant les circonstances locales ; elle devient (f') également en chevaux-vapeur, pour exprimer l'effort réellement transmis par la chute d'eau à la circonférence des roues hydrauliques. Le travail utile est égal à la force (f'), multipliée par la vitesse de rotation (v) de la roue ; donc $f'v = T$. Maintenant il s'agit de fixer la valeur de f'.

Proposition II. — Les conditions d'établissement et de fonctionnement des roues hydrauliques ont été déterminées par la pratique d'après la chute d'eau et la vitesse de rotation, qui sont les deux éléments fixes basés sur le niveau moyen des eaux et à diverses époques de l'année. — Les formules suivantes donnent une indication comparative de l'effet utile (f') qui s'applique aux diverses espèces de roues hydrauliques.

1° Roues à palettes placées avec jeu dans le coursier :

$$f' = \frac{250\,dh}{75};$$

2° Roues à palettes avec coursier bien exécuté :

$$f' = \frac{300\,dh}{75};$$

3° Roues à palettes dans des coursiers emboîtant la roue afin d'éviter toute perte d'eau : $f' = \frac{400\,dh}{75}$;

4° Roues à augets : $f' = \frac{750\,dh}{57}$;

Digitized by Google

5° Turbines : $f' = \frac{700\ dh}{75}$;

6° Machines à colonnes d'eau : $f' = \frac{400\ dh}{75}$ à $\frac{600\ dh}{75}$.

Recherchons maintenant, pour les roues à palettes et les roues à augets, les conditions du maximum d'effet utile, en introduisant comme élément d'appréciation la vitesse d'arrivée de l'eau et la vitesse de la roue. Dans la formule générale précédente, cette première vitesse avait été exprimée en fonction de la hauteur de chute.

Proposition III. — En ce qui concerne les *roues à palettes*, les conditions d'établissement et de fonctionnement peuvent se résumer ainsi : — 1° Le rayon (r) de la roue est égal à la hauteur moyenne de la chute, plus deux fois l'épaisseur de la lame d'eau au-dessus de la vanne plongeante ; il ne doit jamais être moindre que la chute d'eau. — 2° La largeur de la roue avec vanne en déversoir $= \frac{Q}{d}$ (Q est la quantité d'eau à dépenser, d la dépense par seconde pour la largeur d'un mètre. Cette largeur doit être égale à celle de l'orifice augmentée de 0^m05 de chaque côté dans les limites ordinaires). — 3° Le jeu de la roue dans le coursier doit être le plus petit possible, de 0^m005 de chaque côté. — 4° La vitesse (v) de la circonférence de la roue est égale à la moitié de celle due à l'épaisseur de la lame d'eau. — 5° Le nombre de tours de la roue par minute $= \frac{60\ v.}{2\pi r}$. — 6° Le nombre des aubes $= \frac{2\pi r}{0{,}30}$. Les aubes sont généralement écartées de 0^m30 à 0^m40, à la circonférence extérieure. — 7° La capacité contenue entre deux aubes est égale à deux fois le volume d'eau dépensée. — 8° L'effet utile des roues à palettes ou $f'v = T = 61d\ (V - v.)\ v^{km}$. ($d$ est la dépense par seconde, V la vitesse de l'arrivée de l'eau, v la vitesse de la roue ; cette équation, divisée par 75, donne la valeur en chevaux-vapeur.) Si le jeu des palettes est très-considérable, on ne pourra plus faire usage de la formule précédente, car les évaluations seraient très-incertai-

Digitized by Google

nes ; mais si les roues sont emboîtées dans des coursiers circulaires convenablement exécutés, leur effet est plus considérable. Le maximum de travail est obtenu par la prise d'eau près du niveau. — 9° Le travail utile qu'une roue de bateau à moulin transmet est : $T = 148\ S\ (V - v)^2 v^{km}$. ($S$ est la section immergée de l'aube verticale ; V la vitesse du courant ; v celle de la roue. Cette formule est établie par M. Morin ; celle de M. Poncelet n'en diffère pas beaucoup : elle donne $T = 82\ s.\ V(V - v)\ v^{km}$). — 10° *Les roues à aubes courbes*, emboîtées dans un *coursier circulaire*, reçoivent l'eau à la partie inférieure. La courbure des palettes augmente leur effet. $T = 163\ d\ (V - v)\ v^{km}$. (Le coefficient 163 descend à 100 quand le vannage est placé à une trop grande distance de la roue. Pour que l'effet maximum soit obtenu, il faut que la vitesse de la roue soit la moitié de la vitesse d'arrivée de l'eau.)

PROPOSITION IV. — En ce qui concerne les *roues à augets*, les conditions d'établissement et de fonctionnement peuvent se résumer ainsi : — 1° Les roues à augets reçoivent l'eau au sommet par un coursier ou en dessous par un vannage incliné ; elles sont employées pour les chutes d'eau au-dessus de 3 mètres. — 2° La largeur de l'orifice $b = \dfrac{d}{c.\sqrt{2ge}}$ (d est la dépense d'eau disponible par seconde ; c le coefficient = 0,39 ; e l'épaisseur de la lame d'eau). — 3° La largeur de la roue doit dépasser celle de l'orifice de 0^m05 de chaque côté. — 4° La vitesse (v) de la roue, pour donner le maximum d'effet, doit être moitié de celle de l'eau ; ces roues marchent généralement avec une vitesse qui excède 2 mètres par seconde à la circonférence. — 5° Le nombre des tours de roue est le même que pour les roues à palettes. — 6° Le travail effectif $T = 780\ dh + 102\ d.\ (V.\ \text{cosinus}\ a - v)\ v^{km}$ (à diviser par 75 pour avoir le travail en chevaux-vapeur). Les notations sont les mêmes que les précédentes ; h est la distance comprise entre le point de contact du filet d'eau avec la roue et le niveau inférieur de l'eau ; a est l'angle que forment les deux vitesses d'arrivée du filet d'eau et de la roue ou, en d'autres termes, c'est l'angle formé par les deux tangentes menées au point de

Digitized by Google

rencontre des deux courbes). — 7° Pour calculer le volume d'eau que reçoit chaque auget, il faut diviser la vitesse à la circonférence de la roue par l'écartement des augets. — 8° Quand les roues sont petites comparativement à la chute d'eau, et quand elles tournent rapidement, l'action de la force centrifuge se joint à celle du poids de l'eau. Ce cas se présente dans les roues des marteaux de forge, dans les scieries où la vitesse du travail est la condition première; on verse de l'eau en abondance sans se préoccuper si elle donne un effet utile. Une partie de la force motrice devient inutile, comme celle de l'eau qui coule à côté des moulins de rivière.

PROPOSITION V. — Dans les *turbines* ou roues *hydrauliques horizontales*, l'eau entre par la circonférence et sort par l'intérieur; elle entre aussi par l'intérieur et sort par la circonférence; ce mouvement a lieu dans des palettes courbes.

Les turbines sont brevetées: il n'y a donc pas lieu d'indiquer leur construction; il suffit de poser des préceptes pour leur choix: — 1° Leur effet est $f' = 700\, dh^{km}$. — 2° Le nombre moyen de tours par seconde $= \frac{5\,V}{r}$; — (V est la vitesse due à la hauteur de chute; r le rayon extérieur de la roue). — 3° La vitesse de l'eau dans le réservoir qui renferme la turbine ne doit pas excéder le quart de celle due à la hauteur de la chute. — 4° Le rayon du réservoir cylindrique $r = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{d}{0{,}78\,v}}$. — 5° Le rayon extérieur de la roue $r' = r + 0{,}02$.

PROPOSITION VI. — Afin de terminer l'énumération des conditions relatives aux roues hydrauliques, ajoutons quelques règles sur le régime des eaux qui doivent alimenter ces roues: La vitesse d'arrivée de l'eau ne doit pas être forte au point d'altérer le canal; des étangs ou réservoirs d'eau doivent être établis dès que les moteurs sont sujets à des intermittences; l'admission et la sortie de l'eau doivent être réglées par des vannes; les corps flottants doivent être écartés avant

Digitized by Google

d'arriver aux roues ; les vannes doivent être inclinées à raison de 1 de base sur 2 de hauteur ; l'orifice doit être placé le plus près possible de la roue ; la pente du coursier ne doit pas dépasser 1/12 ; le canal de fuite doit être élargi en aval de la roue pour faciliter le dégorgement des eaux ; il doit être placé de façon à sacrifier le moins possible de la hauteur de chute disponible.

---

§ 7. — Conduites d'eau.

Définitions. — Pour conduire les eaux d'une source ou d'un bassin à de grandes distances et pour la distribuer par petites masses, on se sert de tuyaux cylindriques en poterie, en mortier, en plomb, en bois, en fonte et en tôle. Les surfaces de ces matières, ainsi que le mode de jonction des tuyaux entre eux, offrent à l'écoulement des eaux une résistance qu'il s'agit d'apprécier. — Le débit de l'eau par les conduites est souvent encore mesuré par le pouce d'eau des fontainiers, dont il convient de donner ici la définition.

Le *pouce d'eau des fontainiers* est la dépense d'eau par un orifice d'un pouce carré. Les fontainiers mesuraient autrefois les petits cours d'eau en les barrant avec des planches percées de trous d'un pouce, et ils en bouchaient un certain nombre jusqu'à ce que le niveau se maintînt à une ligne constante. La subdivision du pouce d'eau formait la *ligne d'eau* et le *point d'eau*. Le produit d'un pouce d'eau en une seconde est 0,0002 mètre cube.

Proposition I. — La vitesse de l'eau dans les conduites circulaires et alignées ou raccordées avec de grandes courbes est :

$$v = 27\sqrt{di} - 0^{m}025.$$

(*d* est le diamètre de la conduite; *i* la pente par mètre courant $= h/l$; *h* est la hauteur de pression; *l* la longueur sur laquelle elle s'exerce. De cette équation on peut déduire la valeur du diamètre.)

Digitized by Google

PROPOSITION II. — Dans le calcul des conditions d'établissement des conduites, il se présente deux cas : la conduite et la vitesse étant données, quelle est la dépense de l'eau; ou, la dépense ainsi que la vitesse étant données, quel est le diamètre de la conduite.

Voici les formules d'expériences pour ces deux cas :

$$\text{Dépense } (D) = \frac{d^2\, v}{1{,}27};$$

$$\text{Diamètre } (d) = 0{,}30 \sqrt[5]{\frac{D^2}{i}}.$$

PROPOSITION III. — Comme application importante de la question des conduites se présente la *distribution des eaux dans les villes*. Par mesure d'économie on établit des séries de modèles pour les diverses lignes et embranchements d'une canalisation; voici les données d'expérience qui servent de base pour l'évaluation des calculs : — 1° Une *borne-fontaine* peut dépenser 8 pouces de fontainier ou 1,78 litre en une seconde. Comme limites extrêmes de la vitesse on fixe $0^m,1$ et 3^m. — 2° La *perte de charge* éprouvée à la suite des frottements, par mètre courant, est de 0^m003 pour un diamètre de 0^m3 et de 0^m001 pour un diamètre de 0^m6. La charge consommée par la résistance croît rapidement avec la vitesse. — 3° Les conduites d'eau peuvent avoir *des coudes* et leur diamètre peut varier; dans ces deux cas le débit de l'eau est réduit. — Pour les coudes la perte de charge est, d'après M. Morin : $h = H\ (0{,}0039 + 0{,}0186\, r)\, \frac{c}{r^2}$;

(*H* est la hauteur due à la vitesse moyenne; *c* la longueur développée du coude; *r* le rayon de raccordement.)

— 4° Pour le *rétrécissement* des conduites il faut calculer la charge consommée par chaque partie de conduite séparément, afin de pouvoir obtenir la hauteur suffisante pour l'écoulement total. — 5° Si les conduites ont des diamètres de 0^m05 à 0^m25, les rayons de raccordement sont de 0^m45 à 1^m50. En général on peut, pour une conduite en ligne brisée et arrondie, augmenter d'un quart le produit à obtenir. — 6° Dans

Digitized by Google

le service de la ville de Paris, on donne aux tuyaux en fonte une *épaisseur* $= 0{,}02d + 0^m{,}01$ (d est le diamètre du tuyau), et on les éprouve à une pression de 10 atmosphères. (Voir l'article tuyaux dans la résistance des matériaux.)

---

§ 8. — Pression exercée par les gaz.

Proposition I. — Les conditions d'équilibre des gaz sont déterminées par les principes suivants : — 1° Les *pressions des gaz* sont proportionnelles aux surfaces exposées à ces pressions. La pression dans l'intérieur d'une masse gazeuse est la même partout, abstraction faite du poids du gaz. Dans l'industrie on néglige le poids, qui est très-faible relativement à la pression à laquelle les gaz sont soumis. — 2° Lorsqu'un gaz est comprimé, sa force élastique augmente. La *loi de Mariotte* définit ainsi cette relation : « La force élastique d'une masse de gaz varie en raison inverse du volume qu'elle occupe tant que la température reste la même. » — 3° La dilatation est la même pour tous les gaz à égalité de changement de température. Telle est la *loi de Gay-Lussac*, applicable dans la pratique, quoiqu'elle ne soit pas rigoureusement exacte; si le gaz est libre d'augmenter ou de diminuer de volume, une élévation de température le dilatera, mais sa force élastique restera la même; si, au contraire, il est enfermé, la chaleur augmentera sa force élastique.

Proposition II. — Une colonne de mercure ainsi qu'une colonne d'eau de 10^m33 de hauteur fait équilibre à la *pression atmosphérique*. Si cette colonne a une base d'un mètre carré, elle pèse $10^{m.\,cub.}33$ d'eau, donc 10,330 kilogrammes.

Maintenant on peut se faire une idée très-exacte de la pression d'un certain nombre d'atmosphères dans les machines. Quand on dit : Telle chaudière à vapeur marche avec une pression de six atmosphères, cela veut dire que, sur chaque centimètre de la surface de la chaudière, pèse un poids égal à cinq fois 1,033 kilog. Disons cinq fois, car il faut déduire la pression atmosphérique extérieure ou la contre-pression. Ces

Digitized by Google

cinq atmosphères sont la pression effective avec laquelle on marche ; les six atmosphères sont la pression absolue, car la machine est entourée d'air de toute part, au lieu de se trouver dans le vide. Généralement, on entend par pression atmosphérique tout court la pression effective ; mais encore faut-il le dire pour éviter des erreurs. Comme on le voit, ce chiffre dépend de la différence entre la pression environnante et celle dans l'intérieur du récipient.

PROPOSITION III. — La pression des gaz est mesurée au moyen d'un tube recourbé (manomètre) dans lequel on met de l'eau ou du mercure, suivant que la tension est forte ou faible. Dans le premier tube, celui à eau, la relation d'équilibre est :

$$p' - p = 0{,}1\ h \text{ (kilogrammes).}$$

Dans le tube à mercure la relation d'équilibre est :

$$p' - p = 1{,}36\ h \text{ (kilogrammes).}$$

(p' est la pression, par centimètre carré, intérieure ; h la hauteur due à la pression qui est la différence de niveau entre les deux branches d'un tube recourbé ; p la pression extérieure est une quantité constante, comme nous l'avons déjà vu. Si la pression atmosphérique est $= 0^{m}.76$ de hauteur de mercure, $p = 1^{kilog.}.36. \times 0{,}76 = 1{,}033$; en substituant cette dernière valeur dans les équations précédentes nous obtenons p' (eau) $= 1{,}033 + 0{,}1\ h$; p' (mercure) $= 1{,}033 + 1{,}36\ h$. Quant aux divers systèmes de manomètres, il en sera question dans le dernier chapitre.)

PROPOSITION IV. — A défaut de manomètres on n'a qu'à observer l'instant où les soupapes de sûreté sont en équilibre ; la pression qui agit alors sur elles fait équilibre à un poids mobile (*poids curseur*) suspendu à un bras de levier. La relation d'équilibre est :

$$p' = p + \frac{q}{s}\left(\frac{l - r}{l' + r}\right)$$

(p' et p sont les valeurs déjà connues ; q est le poids curseur ; l et l' les bras de levier ; s la surface de la soupape exposée à la pression, et r le rayon du tourillon du levier multiplié par le rapport du frottement des tourillons et des coussinets. — L'emploi de cette formule ne donne qu'un résultat approximatif. Ce moyen très-imparfait sert moins pour calculer la pression, le poids étant donné, que pour calculer le poids avec une pression déterminée.)

Digitized by Google

§ 9. — Mesurage de la vitesse d'écoulement des fluides gazeux.

PROPOSITION I. — L'air, dans l'industrie, sert de moteur ou de milieu résistant. Sa vitesse, d'où dépend sa force, se mesure au moyen de l'*anémomètre*, composé d'un petit moulin à ailettes avec compteur. Cet instrument ressemble à celui connu sous le nom de moulinet de Woltmann pour jauger la vitesse de l'eau ; il remplit le but proposé, à la condition qu'on en ait fait la *tare*, c'est-à-dire qu'on ait fixé avec une sorte de manége la relation entre la vitesse et le nombre de tours des ailettes.

Voici le relevé des différentes vitesses de l'air :

	Chemin parcouru dans une seconde.	Pression exercée sur une surface d'un mètre carré.
	Mètres.	Kilogrammes.
Vent	1	0,20
Brise	6	4,00
Vent des moulins	7	5,00
Vent, marche en mer	9	11,00
Vent grand frais pendant lequel on serre les voiles supérieures	12	20,00
Grande tempête	27	100,00
Ouragan	36	180,00
Plus fort ouragan	44	300,00

PROPOSITION II. — Le gaz tend à s'échapper d'une enveloppe fermée, du moment que sa pression est plus grande que celle de l'air extérieur. Si on pratique une ouverture dans cette enveloppe, le gaz sort avec une vitesse résultant de l'excès des pressions intérieure et extérieure, ce qui peut être démontré ainsi qu'il suit : — Si un vase fermé contient un gaz dont la pression est équilibrée par une colonne de liquide, la vitesse d'écoulement de ce gaz est due à la hauteur de la colonne liquide ; admettons de l'air et du mercure : la densité de l'air est 10,472 fois plus petite que celle du mercure, à la pression ordinaire de 0^m 76 de hauteur barométrique ; supposons que l'air soit comprimé de manière à faire équilibre à une colonne de 0^m 77, soit une colonne de 0^m 01 en plus,

Digitized by Google

et cherchons la vitesse d'écoulement. D'après la loi de Mariotte, la densité de l'air à la nouvelle pression a augmenté en raison inverse de cette pression ; elle n'est plus que 10,336 fois plus petite que celle du mercure. Or, comme à une colonne de mercure de 1^m de hauteur il faudrait opposer une colonne d'air de $10{,}336^m$ de hauteur (à 0^m 77 de pression barométrique), il s'ensuit que, pour 0^m 01 de mercure, il faut employer 103^m 36 d'air. Une hauteur de 103^m 36 correspond à une vitesse de 45^m par seconde, qui sera la vitesse d'écoulement de l'air.

On voit, par ce qui précède, combien la vitesse d'écoulement des gaz est grande, même avec une très-faible pression, laquelle est la différence entre la pression atmosphérique ou extérieure et la pression dans le récipient. — L'expérience a déterminé la vitesse d'écoulement du gaz d'éclairage, qui correspond, dans les conditions ordinaires, à une pression d'une colonne d'eau de 0^m 025.

PROPOSITION III. — La relation de la vitesse d'écoulement est déterminée par la formule suivante :

$$V = \sqrt{2g\left(\frac{p'-p}{d}\right)}$$

calculée pour l'unité du mètre ; (p' et p sont déjà connues ; $p' - p$ représente la pression effective si l'écoulement a lieu à l'air libre ; d est la densité du gaz.)

En appliquant le manomètre à mercure à la solution de cette équation, on obtient :

$$V = \sqrt{\frac{2g \times 13600\ h}{d}}$$

(*h* est la hauteur de pression ou la différence de niveau entre les deux colonnes de mercure.)

PROPOSITION IV. — Lorsqu'un corps tombe dans l'air, son mouvement s'accélère ; mais à mesure que sa vitesse augmente, la résistance de l'air augmente également. La vitesse d'un corps est donc limitée par la résistance de l'air, qui finira

Digitized by Google

par être égale au poids de ce corps, et le mouvement restera uniforme. — La vitesse limite sera d'autant plus petite, que le corps présentera une plus grande surface à l'air. C'est sur ce principe que repose la construction des parachutes.

PROPOSITION V. — La résistance de l'air, augmentée par son mouvement, par le vent, doit être vaincue dans la direction des ballons. Ce problème, qui n'a pas encore été résolu, peut être défini par les trois conditions suivantes : — 1° Le travail d'un homme produit tout au plus une vitesse de deux mètres par seconde dans l'air calme, sans compter la résistance passive de la machine directrice ; — 2° Une machine à vapeur est trop lourde pour être enlevée par un ballon ordinaire ; en donnant à ce dernier des dimensions colossales, la résistance de l'air ne peut plus être vaincue par la machine ; — 3° Enfin, ce problème est renfermé dans un cercle vicieux dont on ne pourra sortir que par l'invention d'un nouveau moteur à la fois léger et puissant.

Voici les données relatives aux ballons aërostatiques ordinaires :

DIAMÈTRE des ballons.	VOLUME des ballons.	POIDS que les ballons peuvent enlever.	POIDS de l'enveloppe des ballons.	FORCE ascensionnelle des ballons.
Mètres.	Mètres cubes.	Kilogrammes.	Kilogrammes.	Kilogrammes.
2	4	5	3	2
4	34	40	10	30
6	110	140	30	110
8	270	320	50	270
10	530	630	80	550
12	900	1030	110	980

§ 10. — Dépense des fluides gazeux.

PROPOSITION I. — Les *dépenses théorique* et *effective des*

Digitized by Google

gaz pourront être assimilées à celles des liquides. Il faut ne pas oublier d'ajouter à la dépense du gaz écoulé l'augmentation du volume due à la diminution de la pression. — La dépense effective est réduite par la contraction de la veine gazeuse, comme on le voit par l'écoulement de la fumée. Le coefficient (c) de contraction est de 0,6, si la contraction est complète; de 0,8, si l'orifice a un ajutage cylindrique; il atteint son maximum quand l'ajutage est une buse conique, ainsi que cela a lieu dans les soufflleries des hauts fourneaux. La formule de la dépense est $D = vs$ multiplié suivant le cas par un des coefficients (c); la vitesse v a déjà été calculée dans le paragraphe précédent; donc :

$$D = c\,s\,\sqrt{\frac{266{,}760h}{d}}$$

(s est l'ouverture ; h la hauteur de pression et d la densité.)

PROPOSITION II. — Le mouvement du gaz dans les tuyaux éprouve une résistance proportionnelle à l'étendue de la surface et au carré de la vitesse; c'est par un excès de pression sur le gaz, comme dans les gazomètres, qu'on parvient à vaincre ces résistances. Il faut alors, pour diminuer ces résistances, donner aux conduites des diamètres aussi grands que possible, diminuer la longueur des conduites, éviter les rétrécissements et les coudes, enfin diminuer les effets de la contraction.

---

§ 11. — Machines à air.

DÉFINITIONS. — Les applications de l'air comprimé ou raréfié sont très-nombreuses en industrie. — On se sert des *machines soufflantes*, *des ventilateurs* pour injecter de l'air pur dans les hauts fourneaux, dans les mines, ou pour aspirer l'air vicié du fond des puits ou des galeries. La machine soufflante comprend ordinairement un grand cylindre en fonte, de 3 à 4 centimètres d'épaisseur, dans lequel un cylindre produit, comme dans les machines à vapeur, successivement

Digitized by Google

l'aspiration et le refoulement de l'air; le cylindre est placé horizontalement.

PROPOSITION I. — L'expérience a déterminé les conditions d'établissement de ces machines ainsi qu'il suit :

1° L'angle des palettes formé avec les bras doit être de 30 degrés dans un ventilateur pour obtenir le maximum d'effet, lequel est d'envoyer le plus grand volume d'air possible. Ce volume, par minute, en mètres cubes, $= 3{,}600.c.v$;

(c est la capacité de la caisse; v la vitesse de rotation.)

2° La vitesse de rotation des palettes $(v) = \frac{2\pi r n}{60}$;

(r est le rayon ou la distance des palettes à l'axe; n est le nombre des tours de l'axe des palettes; v est la vitesse par seconde à l'extrémité des palettes.)

3° La vitesse ordinaire, à laquelle travaille une machine soufflante, est de 1 mètre par seconde; le volume d'air, par seconde : $A = \frac{0{,}75\pi\ d^2\ p}{4}$;

(p est la course du piston; d son diamètre.)

EXEMPLE. — Pour extraire trois tonnes de fonte par jour, on emploie 15 mètres cubes d'air par minute, avec un orifice de 0^m 05 de diamètre; pour souffler cette quantité d'air, il faut un travail de 27 dynamodes ($27 \times 1{,}000$ kilogrammes élevés à 1 mètre de hauteur dans une minute).

Digitized by Google

CHAPITRE VII.

MACHINES A VAPEUR.

§ 1. — Classification des divers systèmes de machines à vapeur.

Les machines à vapeur peuvent être classées en *machines fixes* et en *machines mobiles*. — Les machines fixes sont attachées au sol à titre définitif, dans les ateliers, dans les manufactures, dans les bateaux. — Les machines mobiles ou les locomobiles sont transportées à pied d'œuvre pour être employées à titre temporaire, dans les travaux d'agriculture, dans les épuisements. Les machines locomotives se transportent d'elles-mêmes sur les chemins de fer; sur les routes, on les appelle aussi des voitures à vapeur.

Les machines fixes sont généralement à basse pression, les machines mobiles sont à haute pression; mais ces limites ne ne sont pas absolues.

On admet en général des *machines à basse pression* dans les localités qui donnent du combustible à bon marché. La construction de ces machines est simple; elles n'ont qu'un cylindre; donc les pertes de travail occasionnées par le frottement sont moindres que dans les machines à deux cylindres. La tension de la vapeur est faible; il y a donc moins de chances pour l'explosion. Mais, d'un autre côté, ces machines sont très-grandes, lourdes, et consomment plus de combustible, à force égale, que les autres machines.

Les machines qui ont une pression plus élevée que celle à basse pression, et qui *détendent* et *condensent* la vapeur, consomment moitié moins de combustible, mais leur construction

Digitized by Google

est plus compliquée et leur marche est sujette à une surveillance plus active. Elles sont usitées là où le combustible est rare et où elles peuvent être bien entretenues. On devrait toujours les employer dans les bateaux à vapeur, où, suivant l'ancien usage, on continue à se servir de machines à basse pression.

Les *machines avec détente* et *sans condensation* n'exigent d'autres quantités d'eau que celles nécessaires pour la production de la vapeur; elles produisent, à poids et à volumes égaux, plus de force. D'un autre côté, elles consomment plus de combustible que les machines avec condensation; car il faut porter la tension de la vapeur à 5 atmosphères pour réparer les pertes de la vapeur qui s'échappe dans l'air. Elles demandent beaucoup de soins dans l'entretien des mécanismes, pour éviter les fuites de vapeur; enfin, elles offrent plus de danger en cas d'explosion.

Dans les machines mobiles, il s'agit de développer le plus de force et de vitesse possible sous un petit volume. On y emploie toujours le système à *haute pression*, sans condensation, et quelquefois, par mesure d'économie, avec détente.

Enfin, *les machines à haute pression sans détente ni condensation* sont les plus petites et les plus légères à force égale; mais elles consomment le plus de combustible et demandent le plus d'entretien; en résumé, elles sont les plus dangereuses.

Le choix entre tous ces systèmes est déterminé par les avantages ou les inconvénients qu'ils présentent dans un cas donné.

Digitized by Google

§ 2. — Évaluation de l'effet utile en chevaux-vapeur des machines à vapeur.

DÉSIGNATION DES SYSTÈMES.	FORMULE de la force en chevaux-vapeur.	VALEUR DU COEFFICIENT K dans les machines : en parfait état d'entretien.	VALEUR DU COEFFICIENT K dans les machines : en entretien ordinaire.	EFFET UTILE moyen par kilogramme de houille brûlée.	QUANTITÉ de houille brûlée par heure et par force de cheval.
					kilog.
Machines à basse pression de Watt, de 4 à 100 chevaux.....	$- Kn.2{,}22\ pv\left(1 - \frac{p'}{p}\right)$.	0,50 à 0,60	0,42 à 0,54	660	5 à 6
Machines à détente et à condensation.....	$- Kn.2{,}22\ pv\left(1 + log.hyp\ \frac{p}{p''} - \frac{p'}{p''}\right)$.	0,33 à 0,70	0,30 à 0,50	1900	3 à 4
Machines à haute pression avec détente, sans condensation.....	$- Kn.2{,}22\ pv\left(1 + log.hyp.\ \frac{p}{p''} - \frac{1{,}033}{p''}\right)$	0,40	0,35	1090	4 à 5
Machines fixes, à haute pression sans détente ni condensation.....	$- Kn.2{,}22\ pv\left(1 - \frac{1{,}033}{p}\right)$.	0,50 à 0,70	0,40 à 0,56	320	8 à 10
Machines locomotives, à petite vitesse.....	$- 1{,}82\ nv\ (p - 1{,}033)$.	Les locomotives sont toujours en parfait entretien.		» (On admet une consommation de 16 kilog. de coke par kilomètre.)	6 kil. de coke

NOTATIONS. — p, pression de la vapeur dans la chaudière sur un centimètre carré;
p', tension de la vapeur dans le condenseur;
p'', tension de la vapeur après la détente (voir le mot *Détente*);
v, volume en mètres cubes, engendré par le piston dans une course simple;
n, nombre de courses simples du piston en un seconde;

Logarithme hyperbolique de $\frac{p}{p''} = \frac{1}{6}\left(\frac{p}{p''} + \frac{8\,(p - p'')}{p + p''} - \frac{p''}{p}\right)$.

Cette approximation du logarithme, suffisante dans la pratique, dispense de l'usage des tables logarithmiques.

Digitized by Google

§ 3. — Relevé des rapports entre les diverses pièces d'une locomotive.

D'après l'ouvrage de REDTENBACHER, intitulé : *Lois de construction des locomotives.* Bassermann éditeur, Mannheim, 1855.)

(NOTATIONS. — d le diamètre d'un des cylindres à vapeur d'une locomotive; O la section de ce cylindre; F la surface totale de chauffe; δ le diamètre d'un tube bouilleur.)

1° *Appareil à vapeur.*

Longueur de la grille	$0{,}114\sqrt{F.}$
Largeur de la grille	$0{,}114\sqrt{F.}$
Surface de la grille	$0{,}013$ F.
Hauteur au-dessus de la grille, de la rangée inférieure des tuyaux	$0{,}080\sqrt{F.}$
Diamètre intérieur des tuyaux de la chaudière { minimum	0,037 mètres.
Diamètre intérieur des tuyaux de la chaudière { maximum	0,045 mètres.
Nombre des tubes	$0{,}0033\frac{F}{\delta^2}$
Longueur des tubes	$87\,\delta$
Epaisseur du métal d'un tube	0,002 mètres.
Surface de chauffe de tous les tubes réunis	0,92 F.
Somme de la section de tous les tubes	0,00269 F.
Surface de chauffe de la boîte à feu	0,08 F.
Distance entre le fond de la boîte à feu et le fond de l'enveloppe	0,08 mètres.
Distance entre les côtés de la boîte à feu et les côtés de l'enveloppe	0,08 mètres.
Distance entre les entretoises qui réunissent les parois de la boîte à feu aux parois de l'enveloppe	0,12 mètres.
Diamètre de ces entretoises	0,02 mètres.
Diamètre intérieur de la chaudière, ordinairement cylindrique	$0{,}124\sqrt{F.}$
Longueur de la chaudière	$84\,\delta$

Digitized by Google

Epaisseur de la tôle formant les parois de la chaudière.....	$0,0013\sqrt{F.}$
Epaisseur de la tôle formant l'enveloppe extérieure de la boîte à feu.	$0,0014\sqrt{F.}$
Epaisseur du dôme de la boîte à feu, de cuivre.....	$0,0014\sqrt{F.}$
Epaisseur des parois latérales et du fond de la boîte à feu, de cuivre..	$0,0014\sqrt{F.}$
Epaisseur des tuyaux à l'endroit de la boîte à feu.....	$0,0024\sqrt{F.}$
Section de l'ouverture d'une soupape de sûreté.....	0,0001 F.

2° *Pompes alimentaires.*

Diamètre du piston d'une pompe....	$0,0128\sqrt{F.}$
Course du piston.....	0,12 mètres.
Diamètre de l'ouverture d'une soupape	$0,0058\sqrt{F.}$
Diamètre des tuyaux d'aspiration et de refoulement.....	$0,0058\sqrt{F.}$

3° *Admission de la vapeur et régulateur.*

La section maxima de l'ouverture du régulateur.....	0,00015 F.
Diamètre intérieur des tuyaux d'admission de la vapeur.....	$0,016\sqrt{F.}$
Section de ce tuyau.....	0,0002 F.
Section des tuyaux par lesquels la vapeur va au réservoir.....	0,0001 F.

4° *Tuyau d'échappement.*

Section du tuyau d'échappement....		0,0002 F.
Section de l'embouchure du tuyau d'échappement	minimum	0,0000273 F.
	maximum	0,00017 F.

Digitized by Google

5° *Mécanisme de distribution.*

Angle d'avance		30 degrés.
Avance linéaire des tiroirs		0,013 *d*.
Couverture intérieure des tiroirs		0,012 *d*.
Couverture extérieure de tiroirs		0,065 *d*.
Diamètre de l'excentrique des tiroirs.		0,15 *d*.
Ouverture d'admission	Rapport de la longueur à la hauteur	6,91
	Section	0,000132F=0,071.O.
Ouverture de l'échappement	Rapport de la largeur à la hauteur	3,65
	Section	0,000237F=0,14. O.
Tiroirs	Longueur	0,03 $\sqrt{F.}$ = 0,63 *d*.
	Largeur	0,04 $\sqrt{F.}$ = 0,82 *d*.
	Surface	0,0012 F = 0,59. O.

6° *Cylindres et transmission.*

Section d'un cylindre dans les locomotives à deux cylindres	0,00136 F.
Diamètre d'un cylindre à vapeur	0,0416 $\sqrt{F.}$
Longueur de la course	1,57 *d*.
Longueur de la bielle de transmission	3,84 *d*.

---

§ 4. — Données relatives aux détails des machines à vapeur.

(Classées par ordre alphabétique.)

Air chaud. — La pression produite par l'écoulement de l'air chaud d'une cheminée est estimée par une colonne d'air chaud:

$$P = hq.\ (t' - t).$$

(*h* hauteur de la cheminée de 15 à 30 mètres; *q* coefficient de dilatation de l'air, 0,004; *t* température de l'air, 12 degrés; *t'* température dans la cheminée, 300 degrés.)

Digitized by Google

Le volume d'air chaud qui s'écoule par une cheminée dans une seconde $= \frac{pc'(1 + 0{,}0037\,t')}{3600}$.

(*p* le combustible à brûler par heure en kilogrammes ; *c'* le volume d'air nécessaire à la combustion d'un kilogramme de combustible ; *t'* la température dans la cheminée.)

Appareils exigés pour les chaudières à vapeur. — Ce sont : un manomètre, une pompe d'alimentation, un flotteur d'alarme, un indicateur de niveau d'eau.

Avance du tiroir dans les locomotives. — L'avance angulaire est de 30 degrés ; l'avance linéaire à l'admission, de 0m004 à 0m005 ; l'avance linéaire à l'échapppement, de 0m028.

Balancier en fonte. — Ses dimensions sont : Distance du point d'application ou longueur $l = 3{,}08$ fois la longueur de la course du piston ; hauteur $h = \sqrt[3]{\frac{p\,l}{13}}$; épaisseur $e = \frac{1}{3}\,h$.

(*p* est le poids en kilogrammes qui sollicite chaque extrémité du balancier, voir l'article *balancier* dans la résistance des matériaux.)

Bielle. — La section de la bielle est égale à 1/28 de celle du piston ; sa longueur est cinq fois la longueur de la manivelle.

Carnaux. — Leur profil est égal au profil de la cheminée au delà de la surface de la grille.

Chaudières. — Le diamètre *d*, maximum qu'on donne aux chaudières, est de 1m 10 ; on emploie plusieurs chaudières, quand les quantités de vapeur à produire sont considérables.

— La longueur de la chaudière $= \frac{s}{3{,}7.d}$ (*s* surface de chauffe).

— La capacité (en mètres cubes) des chaudières des machines à basse pression, est $= 0{,}66\,f$. (*f* force en chevaux.) On

Digitized by Google

divise ainsi cette capacité : 0,4 *f.* pour l'eau, et 0,26 *f.* pour la vapeur.

Cheminées des usines. — Le profil = au quart de la surface de grille ; dans les grandes hauteurs, on prend un cinquième. — La hauteur est habituellement de 20 mètres ; dans les villes, de 36 mètres. — Le diamètre *d* d'une cheminée peut également être calculé d'après la formule :

$$d = \sqrt[5]{\frac{c^2}{2\,g\,p}\,(13\,d + 0{,}05\,l)}$$

(*c* est le volume d'air chaud ; voyez volume ; *l* la longueur totale du circuit de la fumée ; *p* la pression produite par l'écoulement de l'air.)

Condensation. — Le volume en litres d'eau nécessaire à la condensation, par heure, est égal à 889 *f.* (*f* force de la machine en chevaux.)

Condenseur. — Sa capacité est ordinairement égale au tiers du volume engendré par le piston à vapeur dans une course simple.

Coulisse. (Voir détente.)

Course du tiroir. — Dans les machines locomotives, cette quantité est de $0^m\,11$.

Cylindre à vapeur. — Épaisseur $e = 0^m01 + 0{,}02d$; diamètre $d = \sqrt{\frac{0{,}02\,f}{v}}$

(*f* est la force en chevaux ; *v* la vitesse moyenne du piston.)

Détente. — Elle est fixe ou variable. — La détente fixe est produite par avance et par recouvrement dans les machines locomotives. — La détente variable se produit au moyen d'appareils de distribution comprenant deux tiroirs ; la *coulisse* de Stéphenson est une détente variable imparfaite au point de vue

Digitized by Google

théorique, mais très-convenable pour l'application. Elle est réglée par le machiniste suivant les obstacles qui se présentent dans les courses rapides, sur les pentes des chemins de fer; en deuxième lieu, cette détente est réglée par un mécanisme spécial qui a pour but de fixer un maximum et un minimum de vitesse sans égard aux résistances. Le surplus de résistance est vaincu par un surplus de vapeur, et tout en régularisant le mouvement, on économise le combustible. — La limite de la détente dans les machines à haute pression et sans condensation ne doit pas être inférieure à $1,5^{m}$ at; par conséquent, le rapport $p/p'' = p/1,50$. Si p est 6 at^{m}, le rapport $= 4$. (Voir les formules ci-dessus, § 2.)

Eau à injecter dans le condenseur = 482 kilog. × force de chevaux de la machine (par heure et pour 4 atmosphères). Eau consommée par une locomotive, en moyenne, 1 litre 5 par seconde.

Ecartement des bords intérieurs des lumières d'admission.— Cette distance est de $0^{m}116$; — dans les bords extérieurs, elle est de $0^{m}196$.

Entretoise de la boîte à feu d'une locomotive : diamètre = $0^{m}02$.

Espace nuisible. — Cet espace est compris entre le piston et le fond du cylindre.

Fumée. — La vitesse d'écoulement de la fumée $= \sqrt{2g\,p}$.
(p est la pression produite par l'écoulement de l'air chaud.)

Grille. — Un mètre carré de surface brûle de 40 à 45 kilogrammes de houille par heure; dans les cas exceptionnels, on peut pousser à 70 kilogrammes. — Le vide des barreaux dépend de la nature du combustible; il est d'un septième à un quinzième de la surface totale de la grille qui est à son tour d'un quinzième de la surface totale de chauffe. — Pour les machines à haute pression et à détente, on peut donner à

Digitized by Google

la grille 0,0057 mètre carré par force de cheval. — La longueur de la grille ne doit pas dépasser 1^m75; elle est $= 0,114\sqrt{s}$.

Lumières d'admission. — Le rapport de la hauteur et de la largeur est de 1 à 5. L'ouverture est égale à un vingtième de la surface du piston.

Manivelles. — Quand elles sont en fer, leur hauteur :

$$h = \sqrt[3]{\frac{pl}{2500}}\text{; leur épaisseur } e = 0,16\,h.$$

Quand elles sont en fonte : $h = \sqrt[3]{\frac{pl}{8}}$; $e = 0,25h$.

(p est le poids en kilogrammes; l la distance des points d'application des forces.)

Orifices ou passages de circulation de la vapeur. — Leur section doit être égale à un vingt-cinquième de celle du piston. Le diamètre des tuyaux à vapeur est donc égal à un cinquième de celui du piston ou du cylindre pris intérieurement.

Orifices ou passages d'émission. — Leur section peut être plus grande, mais pas plus petite que celle des orifices d'admission.

Pistons des cylindres à vapeur.—Leur diamètre, leur course, leur vitesse et le nombre de leurs coups, peuvent être déterminés ainsi qu'il suit :

Digitized by Google

Relevé des dimensions des pistons des machines à vapeur.

FORCE des machines.	DIAMÈTRE du piston.	COURSE du piston.	VITESSE du piston par seconde.	NOMBRE des coups doubles par minute.
Chevaux-vapeur.	mètres.	mètres.	mètres.	
Machines à basse pression et à condensation.				
1	0,15	0,51	0,85	50
2	0,21	0,61	0,86	42
10	0,45	1,22	0,98	24
20	0,61	1,52	1,00	20
30	0,73	1,83	1,04	17
40	0,83	2,00	1,06	16
50	0,91	2,13	1,07	15
80	1,14	2,44	1,08	13
100	1,27	2,60	1,09	12
Machines à haute pression (3 atmosphères) sans détente ni condensation.				
1	0,10	0,40	0,70	53
2	0,14	0,50	0,75	45
10	0,25	0,90	0,95	32
20	0,31	1,20	1,10	28
30	0,36	1,40	1,20	26
40	0,39	1,60	1,30	24
50	0,43	1,70	1,35	23
80	0,50	1,90	1,40	22
100	0,56	2,00	1,50	22

Pour les forces intermédiaires, le diamètre du piston pourra être trouvé par interpolation ou par la formule d (diamètre en centimètres) $= \sqrt{\frac{f}{0,39\,v}(p-p)}$

(f est la force en kilogrammes; v la vitesse du piston en mètres; p et p' la pression et la contre-pression par centimètre carré.)

Plaque des tubes bouilleurs. — Son épaisseur est de 0^m015 à 0^m016.

Pompe à air. — Elle aspire le mélange de vapeur et d'eau

Digitized by Google

produit par la condensation ; ce mélange à 40 degrés est égal à 24 fois le poids de la vapeur.

Pompe à eau froide. — Elle a une course moitié de celle du piston du cylindre, et une capacité égale à un vingtième de celle du cylindre.

Pompe alimentaire. — Le volume engendré par le piston de cette pompe est 1/230 de celui qu'engendre le piston à vapeur. Le diamètre du piston alimentaire $= 0{,}013\sqrt{s}$.

(s surface de chauffe.)

Production de vapeur par 1 kilogramme de houille dans les chaudières cylindriques, 6 kilogrammes ; dans les chaudières tubulaires, 8 kilogrammes. (Voir le chapitre de la physique.)

Registre. — Il modère le tirage dans les locomotives ; on lui donne 0^m20, à 0^m25 d'ouverture.

Réservoir d'alimentation des chaudières des machines à basse pression ; ce réservoir s'ouvre ou se ferme par un flotteur ; son niveau doit être de 2^m50 au moins au-dessus de celui dans la chaudière.

Robinet d'injection. — Son ouverture $= 0{,}00003\ f$ (force de chevaux). L'ouverture est donnée en mètres carrés.

Soupapes de sûreté. — Diamètre $d = 26\sqrt{\frac{s}{n - 0{,}412}}$.

(s surface de chauffe de la chaudière ; n le nombre de pression atmosphériques.) $d = 0^m0227$ par force de cheval. La charge de la soupape $= 0{,}9$ kilogramme par force de cheval.

Surface de chauffe. — 1 mètre carré produit 20 à 25 kilogr. de vapeur par heure ; dans le cas de rayonnement direct on a 100 à 125 kilogrammes. — L'étendue totale de la surface de chauffe en mètres carrés $= 1{,}32\ f$; (f force en chevaux.) On prend 1,5, pour les machines surchargées. — La quan-

Digitized by Google

tité d'eau à vaporiser par heure étant a, la surface de chauffe est a divisé par 30 pour les machines à haute pression.

La surface de chauffe des tubes d'une locomotive = 0,92 × (surface totale.)

Tiges des pistons à vapeur. — Leur diamètre (d) en centimètres carrés $= \sqrt{\frac{sp}{100}}$

(s est la surface du piston ; p la pression de la vapeur en kilogrammes sur chaque centimètre carré.)

On prend souvent aussi d égal au cinquième du rayon du cylindre ou piston.

Travail moteur de la vapeur sur chaque piston ; la mesure de ce travail est le produit de la pression totale, — exprimé en kilogrammes, — par l'espace parcouru par le piston. Ce travail est transmis à l'essieu moteur.

Tubes bouilleurs, ou tubes de fumée, ou tubes à air chaud. — Ils sont en laiton de 0^m002 à 0^m003 d'épaisseur. — Le diamètre extérieur d, est de 0^m04 à 0^m05. — L'écartement des tubes est de 0^m013. — Le nombre des tubes d'une locomotive $= \frac{0{,}003\,f.}{d^2}$ (f est la force en chevaux ; d est le diamètre d'un tube.)

Vapeur. — Le poids (en kilogr.) maximum d'eau à vaporiser par heure est, pour quatre atmosphères, de 16 fois la force en chevaux.

Volants. — Le diamètre est égal à 3,5 fois la longueur de la course du piston dans les machines à basse ou à haute pression ; il est de 4,0 cette même longueur pour les machines à deux cylindres avec détente et balancier ; enfin, de 4,5 pour les machines à un seul cylindre à haute pression et sans balancier. (Voir l'article *volants* dans le chapitre de la MÉCANIQUE.)

Digitized by Google

CHAPITRE VIII.

BREVETS D'INVENTION.

PAR

M. ÉMILE BARRAULT.

Désireux de donner des renseignements précis sur tous les points qui peuvent intéresser les personnes auxquelles s'adresse ce livre, et surtout les ingénieurs, constructeurs, entrepreneurs, j'ai voulu compléter ce cadre par des indications précises sur les brevets d'invention, sur leur importance, leur valeur, et sur les moyens d'obtenir des priviléges sérieux tant en France qu'à l'étranger.

Pour cette partie de ma tâche, j'ai eu recours à M. E. Barrault, ingénieur civil, ancien élève de l'École centrale des arts et manufactures, qui s'occupe spécialement de cette question. — M. Barrault, après avoir rempli les fonctions d'ingénieur dans des chemins de fer, dans des ateliers de constructions et dans diverses usines en France et Belgique, s'est adonné à la question des brevets d'invention; il a établi, à Paris, 33, boulevard Saint-Martin, un cabinet pour la prise des brevets français, et il a institué des correspondants dans tous les pays pour la prise à l'étranger des brevets qui lui sont journellement confiés.

Homme d'industrie et de pratique, M. Barrault s'est également occupé de toutes les questions de droit et de jurisprudence qui se rapportent aux brevets d'invention. Dans de semblables conditions, le travail que je lui ai confié doit évidemment avoir le caractère positif que réclame une question aussi délicate.

Digitized by Google

§ 1. — Exposé.

I.

Dans la plupart des pays civilisés, les gouvernements ont accordé aux inventeurs un privilége particulier sur la chose qu'ils ont créée ; ce privilége porte le nom de *brevet d'invention ou patente*. — Le brevet d'invention est d'une durée limitée, et, suivant les pays, cette durée varie depuis cinq ans jusqu'à vingt ans. — Nous n'avons pas à examiner si la justice exigerait la pérennité des brevets ; nous devons nous borner à dire ce qui est, tout en souhaitant des améliorations inévitables.

La France marche évidemment au premier rang des pays dans lesquels l'industrie est favorisée par des conditions qui deviennent tous les jours de plus en plus favorables, par le jeu régulier de la jurisprudence interprétant plus largement la loi, par des lois successives venant apporter de nouvelles faveurs, enfin par des encouragements plus sérieux aux travailleurs qui préparent le développement de notre industrie.

Les pays qui accordent des brevets peuvent se ranger en deux catégories bien distinctes :

Premièrement. Les pays dans lesquels le brevet est susceptible de recevoir des modifications successives sous le nom de *brevet de perfectionnement* ou *certificat d'addition* par la simple adjonction d'un titre qui vient se confondre avec l'ancien ; ce sont, dans l'ordre alphabétique, la Belgique, la France, la Hollande et le Piémont.

Deuxièmement. Les pays qui ne comportent que des brevets définissant, une fois pour toutes, l'invention que l'on veut privilégier. — Dans cette catégorie il faut cependant tenir compte de deux pays dont le système est un peu différent : ce sont l'Angleterre et les Etats-Unis, qui, avant l'accord du brevet définitif, autorisent des modifications pendant un certain laps de temps, après lequel les inventeurs ne peuvent plus faire que des restrictions connues, dans ces deux pays sous le nom de *disclaimers*.

On comprend naturellement que, dans les pays de la deuxième série, les brevets reçoivent, dans la pratique, une

Digitized by Google

extension que ne comportent point les brevets auxquels on peut annexer des additions ; de là, résulte une rédaction totalement différente dans son essence pour arriver à la protection efficace du même objet dans ces divers pays, et des modifications de rédaction en rapport avec les différences de législation et de jurisprudence qui existent.

II.

Après ce premier classement que nous venons de signaler, il en existe un autre dont l'importance n'est pas moins grande, et dont la base se trouve dans la reconnaissance ou la non-reconnaissance des droits de l'inventeur breveté en pays étrangers.

Ces droits sont, suivant les pays, soit reconnus, soit acceptés, soit supportés, soit enfin complètement méconnus :

1° La France, la Belgique, les Etats-Unis, l'Autriche, la Suède et le Piémont n'admettent chez eux, comme ayant droit à un privilége, que les inventeurs mêmes ou les personnes autorisées par ces derniers.

2° L'Espagne et la Russie n'accordent à l'inventeur, sur l'importateur, que l'avantage d'un privilége d'une plus longue durée et d'une taxe moindre.

3° Les autres pays, tels que l'Angleterre, reconnaissent le droit des inventeurs étrangers, en admettant leur opposition si elle peut se formuler en temps utile.

4° Enfin, la Hollande ne permet à l'inventeur de prendre privilége chez elle qu'en lui déniant le droit de le prendre ultérieurement dans aucun pays, et elle autorise l'importation authentique des brevets étrangers par qui que ce soit.

Il est utile de dire que les prescriptions contenues dans les lois françaises, belges, autrichiennes, piémontaises, américaines et suédoises, sont souvent éludées par l'habileté des pirates de brevets.

D'autres pays reconnaissent également le droit des inventeurs ; mais cette reconnaissance est plus funeste qu'utile, en ce sens qu'elle donne lieu à la demande de production de

Digitized by Google

pièces authentiques coûteuses et souvent difficiles à se procurer.

On le voit donc par ce simple exposé, la prise des brevets en pays étrangers est soumise à des règles variables, bizarres, et l'ordre même dans lequel ces brevets doivent être pris ne doit pas être indéterminé, mais au contraire être établi avec grand soin; une étude rapide des parties caractéristiques de chaque législation permettra d'apprécier mieux encore cette vérité, dont peu de personnes se rendent bien compte.

---

§ 2. — Brevets français.

(Loi du 5 juillet 1844.)

I.

La France est le premier pays dans lequel un Français doit prendre son brevet, et ce n'est pas seulement par patriotisme, mais par intérêt, bien entendu qu'il doit agir ainsi.

Les brevets sont solidaires, en général, du brevet original qui a été pris le premier; et celui-ci tombant, les autres se trouvent en état de déchéance. Or, les lois exigent, pour le maintien des brevets, des conditions rigoureuses, qu'il est facile de remplir dans les pays où l'on est établi, mais que l'on ne peut accomplir toujours aussi facilement dans les autres pays.

Le corollaire naturel de notre premier conseil semblerait être que chacun doit toujours prendre son premier brevet dans son propre pays; il n'en est pas ainsi pourtant; nous signalons ce point sans nous y appesantir.

Les formalités à remplir pour la prise d'un brevet en France sont les suivantes : Il faut déposer, sous un pli cacheté adressé au ministre de l'agriculture, des travaux publics et du commerce :

1° Une demande au ministre indiquant les nom, prénoms, profession et demeure du requérant, le titre sommaire de l'invention et la durée du brevet qu'on réclame; — 2° une description de l'invention, en double expédition; — 3° des

Digitized by Google

dessins ou échantillons, en double expédition ; — 4° un bordereau des pièces contenues dans le pli.

On verse, au préalable, à la Recette centrale, une somme de cent francs pour la taxe de la première annuité du brevet que l'on demande, en payant en outre les frais de timbre nécessaires, et l'on dépose le paquet cacheté au secrétariat de la préfecture du département, en présentant le récépissé qui constate le versement de la taxe.

Ces formalités, assez simples, suffisent pour se faire délivrer un brevet; mais il s'en faut beaucoup qu'elles suffisent pour constituer un brevet valable, c'est-à-dire un titre régulier, un privilége enfin qui assure à l'inventeur le droit d'exploiter seul son invention.

En effet, le Gouvernement délivre les brevets *sans garantie;* il en résulte que la garantie du brevet repose d'abord dans sa nouveauté même, puis aussi dans la manière dont toute nouveauté est mise en relief, et surtout dans l'observation rigoureuse de toutes les formalités et précautions minutieuses nécessaires pour éviter qu'un brevet ne soit vicié, soit dans son essence même, soit dans une partie de ses conséquences.

Ainsi, la loi défend de comprendre, dans un même brevet, plusieurs inventions, tout en permettant cependant de breveter avec l'objet principal les parties accessoires qui dépendent de cet objet principal et les diverses applications que l'on peut prévoir ; il y a là une distinction souvent fort subtile à établir et une étude très-sérieuse du titre que l'on doit choisir.

La demande du brevet doit mentionner la durée que naturellement on devra toujours réclamer de quinze années pour les brevets pris d'abord en France, puisqu'on peut toujours diminuer à volonté la durée du brevet en ne payant point l'annuité qui vient à échoir; cette durée une fois fixée, au contraire, on ne peut plus la prolonger, à moins de solliciter l'extension du brevet par une loi, ce qui n'a encore été accordé qu'une fois depuis quatorze années.

La demande au ministre ne doit contenir ni conditions, ni réserves, et le titre de l'invention doit indiquer clairement

Digitized by Google

et précisément l'objet du privilége réclamé; car toute indication erronée entraînerait la nullité du brevet.

La description doit être écrite en français, sans altérations, ni surcharges; tous les mots rayés nuls doivent donc être comptés et constatés avec soin, et les renvois être approuvés et parafés; aucune dénomination de poids et de mesure autre que celles reconnues par la loi ne pourra être employée, et les dessins annexés au mémoire doivent être faits à l'échelle et à l'encre.

La description, comme les dessins, seront faits à la main, et l'on évitera avec soin toute autographie, lithographie ou gravure pouvant autoriser la croyance d'une publication anticipée, qui vicierait complétement le brevet et le ferait considérer comme nul.

Pour qu'un brevet soit sérieux et valable, le mémoire doit établir nettement l'invention, de telle sorte qu'à l'expiration dudit brevet, chacun puisse en exécuter l'objet après lecture attentive du mémoire et inspection des dessins que la loi exige d'annexer toutes les fois que cela est possible, afin de rendre plus facile l'intelligence des procédés ou moyens nouveaux indiqués.

On comprend que la description doive être rédigée avec grand soin, afin, d'une part, de bien distinguer l'invention nouvelle de tout ce qui existe antérieurement, et, d'autre part, pour que les développements futurs de cette invention soient prévus, afin qu'ils puissent être réclamés légalement par des additions ultérieures.

Enfin, la rédaction ne doit permettre aucune contrefaçon, et l'on sait que les contrefacteurs sont habiles et persévérants.

La plupart du temps les inventeurs sérieux ont soin de confier la rédaction de leur brevet aux hommes qui se sont adonnés spécialement à l'étude des brevets d'invention; dans ce cas, toutes les formalités sont remplacées par la simple signature d'un pouvoir autorisant l'exécution de ces formalités, et qui reste annexé au brevet toujours pris au nom de l'inventeur.

Digitized by Google

Les additions peuvent être prises pendant toute la durée du brevet, et comportent identiquement les mêmes formalités que le brevet lui-même; seulement la taxe à verser n'est que de vingt francs payés une fois pour toutes.

Les additions permettent d'annexer à mesure toutes les améliorations que l'on apporte, et l'article 18 de la loi confère à l'inventeur, ou à ses ayants droit, le droit de prendre pendant une année, à l'exclusion de tous autres, des additions à son privilége. Toutefois, une personne étrangère peut déposer un brevet de perfectionnement pendant ce temps; mais la demande reste sous cachet pendant l'année, et le brevet n'est délivré que s'il comporte des perfectionnements non prévus par l'inventeur au moment où le cachet est brisé.

Dès que le brevet est déposé, la demande est accordée si tout est bien en règle; mais si quelque formalité administrative ou réglementaire a été négligée, le brevet peut être rejeté, et la moitié de la taxe reste, à titre d'amende, entre les mains de l'administration. Lorsque le titre est délivré, l'inventeur reçoit le double de toutes les pièces, mémoires et dessins, signé par le ministre, avec un protocole qui constitue le titre officiel délivré.

Les autres pièces qui constituaient les primata de la double expédition contenue dans la demande exposée par l'inventeur restent aux archives du ministère pour être consultées par le public, tous les jours, de midi à quatre heures.

II.

Une fois en possession de son titre, l'inventeur a le droit de vendre exclusivement ses produits, de saisir tout contrefacteur, et d'inscrire la mention qu'il est breveté, en ajoutant toutefois les mots : *sans garantie du gouvernement*, ou, par abréviation, *s. g. d. g.*

Afin de maintenir son privilége, l'inventeur doit payer chaque année, au plus tard la veille du jour à la date duquel il a effectué le dépôt à la préfecture, l'annuité de cent francs, plus les frais de timbre, en ayant soin à chaque payement de faire consigner, sur le récépissé qu'on lui remet, la date

Digitized by Google

exacte du brevet qu'il paye, ainsi que le titre, et même le numéro que porte le titre officiel que lui a délivré le ministère; l'oubli ou le retard même de cette formalité rend absolue et inévitable la déchéance du brevet.

En outre, l'inventeur doit également, sous peine de déchéance, exploiter l'objet de son privilége dans les deux ans de sa demande, et continuer cette exploitation, sans interruption de plus de deux ans, pendant toute la durée de son brevet; toutefois, la loi laisse aux tribunaux le soin d'apprécier lorsque certains cas de force majeure ont empêché l'inventeur de remplir cette dernière condition.

Enfin, tous les brevets, dont deux annuités ont été soldées, sont publiés par les soins du ministère, soit en totalité, soit par extrait; et les catalogues sont également publiés, chaque année, pour porter à la connaissance du public les brevets qui ont été pris; quant aux brevets de l'année courante, ils ne sont visibles au ministère que lorsqu'ils sont délivrés, c'est-à-dire environ deux mois et demi ou trois mois après le dépôt à la préfecture.

III.

Sans avoir tout dit, nous nous sommes cependant un peu étendus sur la législation française qui est importante et qui concerne notre pays. On pourra remarquer que les conditions pour la prise d'un bon brevet sont justement rendues plus difficiles par leur facilité apparente, qui illusionne souvent les inventeurs qui n'ont pas l'habitude de la loi et ne comprennent pas la difficulté qu'il y a à la bien observer.

La loi française est essentiellement libérale, en ce sens que le contrôle administratif que l'on opère ne porte point sur la valeur même du brevet; le brevet, une fois délivré, peut donc ne constituer qu'un objet sans valeur, si l'inventeur n'a pas pris les minutieuses précautions nécessaires à la validité de son titre; c'est là la cause de bien grandes méprises qui consistent à croire, tantôt qu'un brevet est bon, rien que parce qu'il a été délivré, tantôt qu'un brevet ne signifie rien, et qu'on peut le contrefaire en y modifiant légèrement une de

Digitized by Google

ses parties, ce qui tient seulement à ce qu'il est mal pris.

Avec un bon brevet, la contrefaçon doit être impossible ; elle n'est malheureusement que trop facile lorsque le privilége est mal conçu, mal rédigé, ou pris dans de mauvaises conditions.

---

§ 3. — Brevets belges.

(Loi du 24 mai 1854.)

La Belgique est, après la France, le pays dans lequel on prend le plus de brevets ; aussi les deux brevets sont-ils pris, la plupart du temps, presque en même temps.

La Belgique donne vingt années à l'inventeur ; mais lorsque déjà le brevet a été pris dans un autre pays, elle n'accorde que la même durée que possède le brevet pris antérieurement et le titre qu'elle délivre s'appelle : *brevet d'importation.*

On peut, comme en France, prendre, pendant toute la durée du brevet, des additions à son privilége, sous le titre de : *brevet de perfectionnements.*

Les titres sont également délivrés sans garantie du gouvernement ; leur valeur dépend donc de la manière dont ils sont pris et rédigés. Les parties caractéristiques de l'invention doivent être signalées, dans les dessins annexés, par une teinte particulière ou signe de convention.

Le dépôt doit être enregistré au greffe de l'un des gouvernements provinciaux ou au bureau de l'un des commissariats d'arrondissement, après justification du payement de dix francs pour la taxe de première annuité.

La demande, adressée au ministre de l'intérieur, est sur timbre, et les mémoires rédigés en français, en flamand, ou en allemand, doivent, ainsi que les dessins, être en double expédition.

L'une des expéditions reste aux archives, et l'autre est renvoyée à l'inventeur, annexée à un protocole pour constituer le titre officiel du privilége belge. Les observations faites par les brevets français, s'appliquent également aux brevets belges.

La taxe, qui est de dix francs pour la première année, va en

Digitized by Google

croissant de dix francs chaque année, soit : vingt, trente, quarante, etc. Elle est donc de 200 francs pour la vingtième année ; cette taxe peut être payée chaque année dans le mois qui suit la date du dépôt du brevet ; on peut même encore éviter la déchéance en payant cette taxe, augmentée de dix francs d'amende pendant les six mois qui suivent l'échéance de l'annuité. Cette disposition est essentiellement bienveillante pour l'inventeur, et fait honneur au gouvernement belge.

La mise en exploitation doit avoir lieu en Belgique, dans l'année qui suit la mise en exploitation à l'étranger de l'objet breveté, sans quoi le brevet est nul, à moins que le gouvernement n'ait accordé à l'inventeur une autorisation spéciale.

En Belgique comme en France, l'inventeur seul ou ses ayants droit peuvent prendre brevet. En conséquence, tout inventeur français aurait le droit de faire tomber le brevet semblable au sien, qui serait pris sans son aveu ; mais malheureusement si sa demande est accueillie, le brevet frauduleux tombe, sans profit pour lui, dans le domaine public ; le mieux est donc toujours de prendre le brevet soi-même avant que d'autres puissent le faire.

---

§ 4. — Brevets anglais.

(Loi du 1er octobre 1852.)

I.

Dans l'ordre que nous avons adopté, l'Angleterre vient avec la Belgique pour le nombre de brevets qui y sont pris, et cependant le brevet anglais est relativement beaucoup plus cher ; mais il est une disposition de la loi anglaise qui attire les inventeurs et favorise essentiellement le développement de l'industrie ; et c'est surtout à cette mesure que l'Angleterre doit de voir les inventeurs rechercher ses patentes et appliquer chez elle plutôt même que dans leur propre pays.

Cette mesure consiste en ce que la loi anglaise accorde toute la durée du brevet pour mettre en vigueur l'invention,

Digitized by Google

sans que la non-exécution entraîne jamais la déchéance par elle seule.

On comprend tout d'abord la sécurité que présente cette sage disposition, et l'expérience a prouvé que la mise en exploitation avait lieu presque aussitôt en Angleterre que partout ailleurs pour les inventions venant du dehors, et toujours en avance sur les autres pays pour les inventions faites par les Anglais eux-mêmes.

C'est qu'en effet, l'intérêt personnel suffit toujours pour pousser l'inventeur à mettre en œuvre le plus tôt possible, et toute déchéance provenant de la non-mise en exploitation est nuisible à l'industrie en général et agit pour empêcher tout à fait cette exploitation, lorsque l'inventeur n'y a plus d'intérêt; et cela d'autant plus vrai que l'invention est plus importante, puisque naturellement les frais de premiers établissements et de créations sont d'autant plus considérables, et qu'ils ne peuvent pas être récupérés par le fait d'une vente exclusive.

Dans le cas où un contrefacteur aurait exploité une invention avant l'inventeur même, il y aurait là un fait grave qui pourrait, dans certains cas, entraîner de la part des juges une appréciation défavorable qu'il est avantageux d'éviter autant que possible, et cette appréhension doit exciter à mettre en vente le plus tôt possible malgré la tolérance de la loi.

La patente anglaise s'étend de droit aux trois royaumes, et peut, par décision du commissaire, s'étendre aux colonies ; mais, jusqu'à présent, cette dernière extension n'a jamais été accordée.

On peut, avant la demande de la patente, réclamer la protection provisoire de six mois pour permettre le perfectionnement de l'invention, car la loi anglaise ne permet pas d'annexer les améliorations successives par des additions, et n'autorise les modifications que pendant l'intervalle de cinq mois qui s'écoule entre le dépôt de la spécification provisoire et de la spécification définitive.

La durée de la patente est de quatorze ans, pendant lesquels les payements sont échelonnés comme suit :

En demandant la protection provisoire de six mois, on paye 125 francs.

Digitized by Google

Au bout de quatre mois, on donne avis si l'on veut poursuivre en payant 125 francs.

Aussitôt l'on insère dans les journaux officiels l'annonce du *titre* de la patente poursuivie, et chacun a droit de faire opposition à la délivrance de cette patente, s'il le juge à propos ; mais, au bout de vingt et un jours, s'il n'y a pas eu opposition, on peut procéder à l'apposition du sceau sur les lettres patentes et à l'enregistrement de la spécification définitive, en payant les frais, savoir : 375 francs.

Le droit de timbre pour l'autorisation émanée du magistrat, à l'effet de délivrer les lettres patentes, est lui seul de 125 francs.

Ces payements une fois exécutés, la patente est soldée pour trois années au bout desquelles il faut payer encore 1,250 fr. pour prolonger la patente de quatre ans.

Enfin, au bout de la septième année, en payant 2,500 fr. on peut aller jusqu'à la fin des quatorze années de la patente.

II.

La loi anglaise permet d'accorder sept ans de plus aux inventeurs qui n'ont pas retiré de leur invention des avantages en rapport avec l'importance de leur découverte ; cette prolongation jusqu'à vingt et un ans est entourée de nombreuses formalités et exige le payement à nouveau de 2,500 francs en consignation ; toute personne intéressée peut s'opposer à cette prolongation et faire valoir ses droits qui sont appréciés par des juges nommés pour décider sur la question de prolongation des patentes.

Pour prendre la spécification provisoire de six mois, il faut déposer :

1° Un *affidavit* ou déclaration pour affirmer qu'on est, ou du moins qu'on croit être le premier inventeur de l'invention pour laquelle on sollicite, ou bien que l'on a eu communication de l'invention par l'inventeur lui-même ;

2° Une pétition à la reine ;

3° Une description ou spécification provisoire, ou bien la description définitive elle-même ;

Digitized by Google

4° Un ou plusieurs dessins, si la nature de l'invention l'exige ; ces dessins doivent avoir des dimensions déterminées.

Pendant les six mois de cette protection, l'invention peut être employée et publiée sans porter préjudice à la validité de la patente ; toutefois, il est sage de procéder avec prudence, tant que les délais d'opposition ne sont point franchis, afin justement d'éviter qu'une personne intéressée ne fasse ou ne fasse faire opposition à la délivrance de la patente, ce qui nécessiterait la levée de cette opposition, des frais et des formalités longues et minutieuses.

Les patentes peuvent être déclarées nulles ou déchues :

1° Si l'invention a été brevetée par fraude ou au préjudice d'une patente déjà accordée;

2° Si on a publié ou exploité ladite invention en pays étrangers, avant la date de la demande de patente en Angleterre;

3° Si les taxes ne sont pas payées exactement et avant les époques fixées.

Il faut apporter un grand soin à la rédaction de la spécification provisoire, et au choix du titre qui, du reste, doit être approuvé par les commissaires des patentes.

La spécification définitive ne peut réclamer aucun point nouveau non mentionné dans la production provisoire, mais elle développe ceux qui ont été revendiqués ; cette spécification définitive doit être écrite sur un parchemin timbré, d'une longueur de 546^{mm} et d'une largeur de 375^{mm} avec réserve de 38^{mm} à chaque bord de la feuille.

Les dessins qui accompagneront les spécifications devront être également disposés sur des feuilles de parchemin ayant 750^{mm} sur 546^{mm}, avec réserve d'une marge de 38^{mm} sur les bords. Ces dimensions doivent être précises sous peine de renvoi des pièces.

On doit payer à l'office des commissaires 20 centimes par chaque 90 mots du mémoire.

Les patentes anglaises étant accordées sans garantie du gouvernement, leur valeur dépend non-seulement du mérite et de la nouveauté de l'invention elle-même, mais encore, et plus peut-être, de la mise en valeur de cette invention dans

Digitized by Google

les mémoires et dessins annexés, et de la manière dont les diverses parties de ladite invention ont été exposées et surtout revendiquées.

Il est essentiel également de ne revendiquer que ce qui est réellement nouveau, car le fait d'une revendication inexacte vicie le brevet qui n'a plus aucune valeur, jusqu'à ce que, par la sollicitation d'un *disclaimer*, on ait obtenu de retrancher de la patente la partie entachée d'inexactitude.

En général, la prise des brevets anglais exige une attention, et des soins spéciaux; les formalités y sont nombreuses et multipliées et nous ne pourrions pas, dans le cadre restreint de cette note, donner tous les conseils que nous croyons nécessaires; toutefois nous pensons que, pour la plupart des cas, ce que nous avons dit suffira, d'autant plus, que pour la prise des brevets anglais, l'intervention d'un agent est presque indispensable, même pour les Anglais, à plus forte raison, pour les étrangers.

---

§ 5. — Brevets aux États-Unis.

(Lois du 4 juillet 1836 ; actes additionnels du 3 mars 1837, du 3 mars 1839 et du 29 août 1842.)

En suivant l'ordre d'importance, nous trouvons les États-Unis, pays dans lequel on prend une très-grande quantité de brevets et où ces brevets ont une grande valeur attendu qu'ils se vendent avec assez de facilité.

La loi des Etats-Unis, pour être bien comprise, exigerait un grand développement; mais, restreint par l'espace qui nous est accordé, nous en indiquerons seulement les points saillants.

Aux Etats-Unis, les brevets sont préalablement examinés et ne sont accordés que si l'invention est nouvelle.

On accorde des brevets aux inventeurs pendant les deux premières années de leur brevet primitif étranger. Mais ces patentes expirent avec le brevet primitif. Lorsqu'il n'y a pas eu importation dans le pays, on peut prendre encore ce brevet même quand plus de deux ans sont déjà écoulés.

Digitized by Google

La patente est de quatorze ans et peut être prolongée jusqu'à vingt et un ans.

La taxe se paye immédiatement pour toute la durée du brevet; elle est de 160 fr. pour un Américain, de 2,700 fr. pour un sujet anglais, et de 1,620 fr., pour tous les autres étrangers.

Pour la demande du brevet, il faut un *affidavit* devant le consul ou déclaration qu'on est réellement l'inventeur, une description signée de l'inventeur et attestée par deux témoins avec la désignation précise, sous forme de claims, des caractères distinctifs de l'invention, une double expédition de tous les dessins et échantillons nécessaires à la compréhension parfaite de l'invention, et enfin s'il s'agit d'une machine, un modèle dont le volume ne doit pas dépasser 35 centimètres cubes.

Dans le cas où le brevet est refusé, le gouvernement conserve le modèle et le tiers de la taxe. Cette mesure inique, ainsi que la différence exorbitante de taxe entre les Américains et les étrangers, fait l'objet des réclamations de tous les esprits sensés et constitue une injustice qui doit disparaître avec la nouvelle loi projetée.

---

§ 6. — Brevets Sardes.

(Loi du 3 février 1855.)

En Piémont, le brevet peut être pris par l'inventeur, même après publication, pourvu que personne n'ait encore introduit l'objet de l'invention dans le pays.

La durée du brevet est au plus de quinze ans et la taxe est établie suivant une double base.

Il y a taxe pour le nombre total des années du brevet, soit 10 fr. pour chaque année : cette taxe se paye immédiatement.

Il y a taxe annuelle progressive, soit 30 fr. pour chacune des trois premières années, 60 fr. pour chacune des trois suivantes, et ainsi de suite en augmentant de 30 fr. par chaque période de trois ans.

Digitized by Google

On peut prendre des brevets d'addition et demander des prolongations de durée jusqu'à quinze ans, si le brevet primitivement demandé n'avait pas cette durée.

Les descriptions doivent être faites en triple expédition dans un format déterminé; les dessins doivent être également d'un format spécial, et également en triple expédition.

L'exploitation doit avoir lieu dans la première année, sous peine de déchéance, pour les brevets de moins de cinq ans, et dans les deux ans, pour tous les brevets d'une durée plus grande.

Une procuration notariée est nécessaire pour faire prendre ce brevet; il faut aussi joindre la copie officielle du brevet primitif, lorsque ce brevet n'est pas demandé le premier de tous.

Une commission examine les brevets relatifs aux médicaments, boissons et substances alimentaires et peut refuser au besoin l'octroi du brevet.

---

§ 7. — Brevets Autrichiens.

(Loi du 15 août 1852.)

En Autriche, on refuse tout brevet aux médicaments, aux boissons et aux substances alimentaires.

La plus grande durée d'un brevet autrichien est de quinze ans et la taxe est de 700 florins pour la durée totale, soit 100 florins pour les cinq premières années. En outre de cette taxe, l'inventeur est tenu de payer, pour tout procédé se rattachant à la chimie, ou à l'hygiène, une taxe particulière de 12 florins à titre d'examen. En outre encore, tout inventeur est soumis à l'impôt du revenu et à l'impôt commercial, dont la quotité est fixée et varie chaque année. Il faut, pour le brevet, la spécification en allemand et les dessins ou échantillons nécessaires, la copie officielle du brevet étranger, s'il y en a eu avant la demande du brevet autrichien, et un pouvoir notarié. On peut réclamer le secret de l'invention ou permettre la publicité, suivant qu'on le désire.

La mise en exploitation doit avoir lieu dans l'année de la

Digitized by Google

signature du brevet; toutefois, le gouvernement accorde volontiers des facilités et des prolongations pour la mise en exploitation.

§ 8. — Brevets hollandais.

(Loi du 25 janvier 1817.)

Toute personne peut réclamer un brevet, en Hollande, pour une invention qui n'est pas connue dans le pays. Le brevet appartient au premier demandeur. Les pièces doivent être en double expédition, ainsi que les dessins. Le gouvernement détermine lui-même la durée qui sera accordée au brevet; cette durée étant comprise entre cinq et quinze années, la taxe est également à la disposition du gouvernement, entre les limites de 200 à 700 florins. Mais l'habitude est d'imposer :

Les brevets de cinq ans, à 150 florins;

Les brevets de dix ans, à 300 florins;

Les brevets de quinze ans, à 600 florins.

Cette taxe ne se paye qu'un an environ après le dépôt du brevet, et l'exploitation doit avoir lieu dans les deux années de la concession.

Il est interdit au titulaire d'un brevet d'invention en Hollande de se faire postérieurement breveter en aucun autre pays.

§ 9. — Brevets espagnols.

(Loi du 27 mars 1826.)

Les inventeurs espagnols ou étrangers peuvent obtenir des brevets de cinq, dix ou quinze ans, moyennant le payement de 275, 810 ou 1,620 francs. Le brevet de cinq ans peut être prolongé jusqu'à dix ans avant son expiration.

Les introducteurs ne peuvent réclamer qu'un brevet de cinq années, qui ne peut pas être prorogé, et dont le prix est de 810 fr.

Digitized by Google

Les brevets sont délivrés sans examen, sur une simple demande, pourvu qu'ils ne concernent point l'un des objets dont le gouvernement s'est réservé le monopole.

La demande doit être rédigée en espagnol, être accompagnée des dessins nécessaires, et contenir les caractères distinctifs de l'invention en claims à la fin du mémoire. Il faut exploiter dans l'année; mais lorsqu'il y a lieu, le gouvernement accorde volontiers des prolongations pour cette exploitation.

§ 10. — Brevets prussiens.

(Loi du 14 octobre 1815.)

Les Prussiens peuvent seuls être privilégiés dans ce pays; aussi les brevets sont-ils pris sous le nom d'un Prussien, qui donne une déclaration de propriété à l'inventeur.

Les demandes sont examinées et la plupart du temps rejetées; toutefois, le gouvernement motive toujours son refus. L'exploitation doit avoir lieu et être justifiée dans les six mois de la concession.

La durée du brevet varie de six années à quinze années. Les brevets ne sont soumis qu'à des droits d'honoraires des examinateurs, des droits de timbre et d'enregistrement; ils n'ont point de taxe proprement dite; seulement les brevetés doivent payer les impôts de fabricant.

Nous conseillons aux inventeurs de s'abstenir de demander le brevet prussien, sauf certains cas exceptionnels dans lesquels on peut risquer cette demande.

§ 11. — Brevets russes.

(Lois du 22 novembre 1833 et du 23 octobre 1840.)

Le brevet est accordé après examen. Pour les importateurs, la plus longue durée est de six ans, et la taxe de 360 roubles argent (1,440 fr.). Pour les inventeurs, la durée du brevet peut être de

Digitized by Google

dix ans; la taxe est de 90 roubles argent (360 francs) pour trois ans, de 150 roubles (600 francs) pour cinq ans, et de 450 roubles (1,800 francs) pour dix ans.

La demande doit comprendre une pétition au ministre du département des manufactures et du commerce extérieur, le mandat de versement de la taxe, la description en langue russe, développant, d'une manière claire et *concise*, l'invention, et les dessins bien détaillés. Une procuration notariée doit être jointe aux pièces.

Dans le cas où le brevet est refusé, le gouvernement restitue la taxe.

L'invention doit être exploitée dans le premier quart du temps qui forme la durée du privilége.

---

§ 12. — Brevets suédois.

(Loi du 19 août 1856.)

Il n'y a pas de brevet d'importation. L'inventeur seul peut prendre un brevet en Suède, et le gouvernement détermine la durée du privilége, qui est toujours comprise entre trois et quinze ans.

La publicité de l'invention n'empêche pas d'accorder le brevet à l'inventeur, qui doit exploiter dans les deux ans de sa demande.

Il n'y a pas de taxe proprement dite; mais le brevet doit être publié, aux frais de l'inventeur, à trois reprises différentes, dans les journaux officiels, et les droits de chancellerie sont élevés.

L'inventeur doit être constamment représenté, en Suède, par un mandataire spécial restant à la disposition du gouvernement pour répondre à toutes ses demandes.

---

§ 13. — Brevets en Bavière, en Saxe, en Wurtemberg, en Hanovre, en Portugal, etc.

Nous terminerons par une nomenclature des exigences les plus importantes des autres pays.

Digitized by Google

Bavière. — Les brevets sont de quinze ans ; la mise en exécution doit avoir lieu dans l'année. Il faut les mêmes pièces que pour l'Autriche. La taxe est de 350 florins pour quinze ans. Le brevet est soumis à un examen préalable.

Saxe. — Les brevets sont de cinq, dix ou quinze années. La taxe est de 20 à 50 thalers, et le brevet est préalablement examiné. L'exploitation du brevet doit avoir lieu dans l'année.

Wurtemberg. — Les brevets sont de dix ans au plus ; le gouvernement fixe leur durée. La taxe du brevet est de 5 à 20 florins par an, outre l'impôt annuel qu'il faut s'engager à solder. — L'exploitation doit avoir lieu dans les deux ans.

Hanovre. — Le brevet est préalablement examiné et peut être accordé pour dix ans ; il doit être exploité dans les six mois de la concession.

Portugal. — Les brevets y sont de cinq ou dix ans. Les formalités pour les obtenir sont délicates et nombreuses.

Pour terminer ce travail, nous dirons que si nous n'avons pas cité divers pays, tels que le Brésil, les Etats-Romains, le royaume des Deux-Siciles, le Hesse-Cassel, le grand-duché de Bade, le Waldeck, etc., c'est que le cadre restreint de ce travail ne nous permet pas d'entrer dans de plus grands détails, et que nous avons dû naturellement négliger les pays dans lesquels on prend le moins de brevets.

Nous comptons prochainement faire paraître un ouvrage qui, étant spécial sur la matière, traitera à fond toutes les questions et donnera les détails les plus minutieux sur la pratique, les formalités et les habitudes des divers pays où l'on peut prendre des brevets. Toutefois, les renseignements que l'on peut donner ne permettent pas, la plupart du temps, de se passer d'un mandataire ou d'un représentant. Dans ce cas, il est nécessaire de consulter les quelques hommes honorables et spéciaux qui s'occupent des brevets d'invention ; et, pour notre part, nous serons toujours heureux d'éclairer de nos conseils les inventeurs et les ayants droit des brevetés.

EMILE BARRAULT,
Ingénieur civil diplômé.

Digitized by Google

CHAPITRE IX.

RECHERCHES ET ENTRETIENS

SUR LES PROGRÈS CONSTATÉS ET SUR CEUX A FAIRE DANS LE DOMAINE DE LA TECHNOLOGIE.

§ 1. — Explosion des chaudières à vapeur. — Manomètre Bourdon.

I.

Une des plus grandes préoccupations de tous les industriels qui se servent de la vapeur comme force motrice, c'est de se prémunir contre les accidents que ce fluide peut occasionner, soit en déchirant la chaudière, soit en projetant au loin les morceaux de métal, et en détruisant les édifices dans lesquels les machines se trouvent placées.

On attribue ces effets destructeurs à un excédant de pression de la vapeur, et on cherche dans l'application de mécanismes infaillibles le moyen de prévenir le retour de ces désastres.

Quand le métal de la chaudière rougit à la suite de l'abaissement complet du niveau de l'eau, et quand ensuite l'eau est introduite sans ménagement et mise en contact immédiat avec les surfaces incandescentes, le développement de la vapeur devient énorme, presque instantané, et entraîne toujours l'explosion. — D'un autre côté, les défectuosités du dispositif des soupapes, ou leurs surcharges momentanées, la mauvaise qualité du métal, les épaisseurs insuffisantes, les vices de construction dans ses armatures sont regardés comme des causes déterminantes qui se résument dans le manque

Digitized by Google

d'équilibre entre la force expansive de la vapeur et la résistance de la chaudière.

Examinons cette grave question sous le double point de vue de la diminution du volume de l'eau et de la fausse indication de pression.

II.

Pour se rendre compte de la descente du niveau de l'eau au dessous de l'étiage, qui est la ligne de démarcation indiquée sur la paroi extérieure, on n'a qu'à ouvrir un robinet placé juste à l'étiage; deux autres robinets se trouvent un peu au-dessus et un peu au-dessous de cette ligne. Comme complément de ce système, on ajoute encore un tube indicateur en verre dans lequel on fait entrer l'eau par un bout et la vapeur par l'autre bout; cette manœuvre demande du temps, et ce qui est un autre inconvénient, elle ne se fait pas d'elle-même. En outre, les robinets peuvent s'obstruer, et le tube peut casser. On a donc placé sur l'eau un flotteur ou corps flottant muni d'une tige qui traverse la chaudière; mais cette tige doit naturellement se mouvoir : descendre avec son flotteur quand l'eau baisse, et monter quand la chaudière est alimentée avec une nouvelle quantité de liquide. Mais comment faire pour que cette tige puisse passer? Par une ouverture trop large la vapeur s'échappe, par une ouverture trop étroite la tige ne peut glisser librement, et doit donner dès-lors de fausses indications.

Pour obvier à ces inconvénients, il n'y a qu'un moyen; c'est de fermer hermétiquement la chaudière et de faire voir à l'extérieur ce qui se passe dans l'intérieur, en supprimant du même coup le graissage, les garnitures à étoupes, et toute transmission mécanique : dans ce but, on entoure la tige du flotteur d'un cylindre en fonte, surmonté d'une cage en cuivre et vissé ou rivé sur la chaudière. L'extrémité supérieure de cette tige est munie d'un aimant; une aiguille isolée de tout soutien, et entièrement libre, mais attirée par cet aimant, se promène sur la paroi extérieure de la cage qui est graduée par une échelle dont le point zéro est le niveau normal

Digitized by Google

de l'eau. Au haut de la cage en cuivre est un sifflet d'alarme qui donne, au moyen d'un mécanisme très-ingénieux, le signal chaque fois que l'aimant arrive aux limites extrêmes de sa course. Cette invention a été faite par M. Pinel, mécanicien à Rouen.

III.

Le deuxième système préventif comprend les manomètres. J'ai décrit ces instruments dans mon *Manuel de la construction des chemins de fer ;* ce sont : les manomètres à air libre, ceux à air comprimé, les thermomanomètres, les manomètres à caoutchouc, enfin les manomètres métalliques.

Tous ces instruments présentent des défauts : les manomètres à air libre sont impraticables si la pression est élevée, car il faut un tube d'une longueur égale à 0^m76 fois le nombre de pressions atmosphériques. — Dans les manomètres à air comprimé, le mercure dépose une pellicule de son oxyde contre le tube en verre, qui est rendu opaque. — Le thermomanomètre ou thermomètre plongé dans la chaudière, donne des indications très-lentes et souvent inexactes, quand on néglige de placer la boule thermométrique dans une capsule, car alors cette boule est comprimée par les hautes pressions et fait monter indûment le mercure. — Ce que l'on reproche généralement aux manomètres à cadran, c'est que l'aiguille, — la machine étant en repos, — ne revient plus au point de départ, qu'elle a horreur du zéro.

J'ai fait une espèce d'enquête à ce sujet près de nos principaux ingénieurs. Il en est résulté que le manomètre métallique inventé par M. Bourdon, ingénieur mécanicien à Paris, remplit le mieux toutes les conditions d'un service journalier, et c'est là l'essentiel.

Cet instrument se compose d'un tube mince en laiton, à section elliptique, contourné en spirale ; par une des extrémités on fait entrer la vapeur qui le détord ; l'autre extrémité, naturellement fermée, suit ce mouvement et indique la pression au moyen d'une aiguille sur un cadran. La tare ou la graduation se fait au moyen d'une pompe hydraulique. —

Digitized by Google

On emploie le manomètre Bourdon comme appareil de vérification des manomètres déjà placés sur les chaudières, et comme instrument d'épreuves.

Comme le manomètre Bourdon ne peut rien laisser à désirer sous le rapport de la fabrication, surtout depuis que le tube est renfermé dans un autre tube, comme garantie contre les fissures, on ne peut trouver les causes du manque de précision que dans l'usure des organes de transmission des mouvements du tube, ou dans l'altération du métal soumis aux efforts de l'extension. Faire disparaître ces inconvénients serait un problème à mettre à l'étude; à ce titre je le recommande aux esprits inventifs.

---

§ 2. — Explosion et éclairage des mines. — Puisatiers.

I.

Depuis quelque temps on a pris l'habitude de représenter sur une feuille de papier, par des lignes, toute variation et toute fluctuation susceptibles d'être définies par des chiffres: changement de température, recettes de chemins de fer, hauteurs barométriques, vitesse et travail de machines, naissances, inondations; enfin, tout élément statistique donne lieu à un *diagramme*.

Sur une ligne horizontale marquons des points, sur ces points élevons des lignes verticales; supposons trente points pour les trente jours du mois; sur ces lignes verticales portons avec une échelle les longueurs correspondant aux chiffres qui seraient les degrés de chaleur; réunissons ces points par une ligne brisée, et nous aurons le diagramme de la température dans tel mois. Répétons cette opération pendant dix ans tous les mois, mettons les diagrammes les uns sur les autres, en les coloriant pour éviter la confusion, et nous obtiendrons dans un petit espace les indications du thermomètre pour la période indiquée.

Digitized by Google

Ce sera un véritable trésor qu'une collection de pareils diagrammes relatifs aux sciences d'observation et à l'économie sociale ; en superposant toutes ces figures, nous trouverons, certes, des coïncidences surprenantes. Qu'on fasse cet essai avec les diagrammes de la mortalité des hommes et des bestiaux, de la production et de la consommation des substances alimentaires, avec les diagrammes de la marche des épidémies, et on aura des points de comparaison d'où l'on tirera des conclusions sérieuses pour la salubrité et l'état sanitaire publics. Tous ces renseignements existent, seulement ils sont épars ; il faudrait les réunir, les classer, les rapporter sur le dessin, et le problème serait résolu. Il est superflu d'insister sur l'utilité pratique de ce travail ; il n'y a pas une seule spéculation qui ne repose sur des comparaisons et sur des antécédents que les diagrammes peuvent enregistrer avec toute la précision mathématique.

II.

Une des applications les plus curieuses de ces diagrammes a été faite par un des professeurs du collége de Cambridge ; M. Dobson a noté depuis un certain nombre d'années les explosions qui ont eu lieu dans les mines d'Angleterre ; il a traduit ces faits en diagrammes ; il a opéré de la même façon quant aux phénomènes météorologiques. Eh bien, le zigzag des explosions donne la même figure que celui du mouvement de rotation des orages, ou, en d'autres termes, les explosions des mines ont lieu quand le baromètre est bas. Cet énoncé demande quelques explications.

La cause déterminante de ces explosions est toujours la même : c'est l'approche d'une lumière aux feux grisous. L'imprudence des ouvriers mineurs est naturellement indépendante de la pression atmosphérique, et c'est encore une question : on commet, par un temps qui prédispose à la tristesse, au dégoût de la vie, des actes d'insouciance que l'on ne commettrait certes pas par un beau soleil de printemps.

Mais n'anticipons pas ; suivons le docteur anglais dans ses recherches. On sait que le gaz inflammable, l'hydrogène pro-

Digitized by Google

tocarboné, s'échappe, dans les mines de houille, par d'innombrables fissures de ce végétal fossile fracturé. Comme l'équilibre ordinaire entre le gaz méphytique et l'air respirable est maintenu par les efforts des appareils de ventilation, on voit que toute fluctuation dans la hauteur barométrique est susceptible de déranger ce balancement délicat de deux forces opposées. Si la pression extérieure descend brusquement, les fuites de gaz deviennent considérables et envahissent, dans les galeries, des régions qui, peu de temps auparavant, n'offraient aucun danger. Naturellement, pour qu'il y ait explosion, il faut que l'air soit inflammable et qu'il soit enflammé.

C'est dans les mois de juin et de juillet que les explosions sont les plus fréquentes; au mois de septembre, quand la courbe diagrammatique du baromètre monte, ces désastres deviennent plus rares. Telle serait, quant à présent, la conclusion à tirer de ces diagrammes.

On a fait un rapprochement avec le thermomètre ou avec la température à laquelle on attribue une action plus directe dans l'envahissement du gaz. La théorie précédente a été contestée, et, d'après d'autres observations, l'influence de l'atmosphère, qui tout à l'heure jouait un si grand rôle, a été déclarée nulle.

Les essais barométriques ne se rapportent encore qu'à l'Angleterre. M. Dobson désire donner actuellement toute l'extension nécessaire à son premier travail, qui avait été présenté à l'*Association britannique pour l'avancement des sciences*.

En étendant ces observations sur tous les pays, on arrivera à un résumé exact qui permettra d'appliquer des moyens efficaces, afin de sauvegarder la vie des ouvriers mineurs.

Pour répondre à la demande que le savant professeur de Cambridge m'a adressée, d'étendre avec lui ses diagrammes primitifs, j'ai l'honneur de faire un appel aux personnes que cette question intéresse, de vouloir nous communiquer toutes les expériences qu'elles ont pu recueillir sur cet important sujet. Partout où il y a des mines de charbon, il y a malheureusement des explosions; mais il s'y trouve aussi des livres

Digitized by Google

dans lesquels on enregistre journellement l'état de l'atmosphère, ainsi que toutes les circonstances qui pourront nous servir dans l'établissement d'un aperçu complet.

III.

Pour compléter ce qui vient d'être dit au sujet des causes mécaniques de l'explosion du feu grisou, ajoutons quelques explications sur son effet chimique.

L'introduction de 4,5 pour cent d'hydrogène carboné dans l'air constitue le feu grisou, ou mélange détonant, qui s'enflamme quand il se trouve en contact avec un corps en ignition. Il y a alors formation d'eau ; la température à laquelle se fait la combinaison de l'hydrogène et de l'oxygène pour produire de l'eau est bien supérieure à 100 degrés. L'eau formée se réduit alors en vapeur. Or, on sait qu'un volume d'eau produit 1,700 volumes de vapeur, et un chiffre plus élevé si la température est supérieure à 100 degrés, comme dans le cas qui nous préoccupe. Cette immense quantité de vapeur brise tout ce qui lui résiste, puis immédiatement elle se condense ; le vide se fait dans tout l'espace occupé par la vapeur, et l'air s'y précipite avec violence. Quant au bruit de la détonation, il résulte de deux causes : premièrement, la vapeur, en se formant d'une manière instantanée, frappe l'air avec violence ; en second lieu, le vide se faisant, l'air revient avec non moins de violence, reprend la place qu'il occupait, et produit un second choc. Ces deux chocs ne sont pas instantanés, mais ils sont assez rapprochés pour que notre oreille ne perçoive qu'un seul son.

IV.

L'éclairage actuel des mines est la cause de ces terribles explosions, toujours trop nombreuses, dont le récit nous épouvante à juste titre.

Ne négligeons alors aucune occasion de signaler les tentatives faites dans le noble but de préserver la vie de ces pau-

Digitized by Google

vres ouvriers mineurs, qui nous rendent des services si utiles, que nous n'apprécions certes pas assez.

Les premiers mineurs se préservaient des coups de feu en incendiant, dans la journée du lundi, le gaz qui s'était formé pendant le dimanche ; ils s'éclairaient ensuite, comme le font encore aujourd'hui les Chinois, par des étincelles qu'on produit avec du fer sur une meule, ou par des charbons ardents qu'on fait tourner en cercle. Plus tard, on a inventé la lampe de sûreté ; on y a ajouté l'aérage naturel ou mécanique : — naturel, quand on entretient un feu au haut d'un puits pour aspirer l'air inférieur ; — mécanique, quand on emploie les ventilateurs. Mais ni les feux ni les ventilateurs ne marchent pendant le dimanche, et c'est ainsi qu'on explique les explosions qui arrivent pendant le lundi, ce qui, du reste, est prouvé par les statistiques des accidents des mines.

Malgré la lampe de sûreté de Davy, — on sait que cette invention consiste à entourer la flamme d'une gaze métallique, — malgré ce préservatif, suffisamment perfectionné dans ces derniers temps, les explosions ont lieu, parce que les ouvriers commettent l'imprudence d'ouvrir leur lampe sous les prétextes les plus futiles, et cependant il y va de leur existence. Pour en finir, on a conçu l'idée de fermer avec une clef très-compliquée et très-coûteuse toutes les lampes appartenant à une exploitation. Cette clef, que les ouvriers ne peuvent pas se procurer à cause du prix élevé, reste toujours entre les mains du lampiste.

On a imaginé encore un autre mécanisme, qui fait rentrer la mèche dans l'huile, du moment qu'on cherche à ouvrir la lampe. Mais, du reste, cette lampe n'indique la présence du grisou que quand le mélange a atteint 5,5 pour cent d'hydrogène carboné.

On a aussi disposé le long des galeries un fil conducteur muni de fusées qui, allumées au moyen d'étincelles électriques, brûlent le grisou.

V.

Tous ces perfectionnements ne sont que des palliatifs. Le moyen efficace, absolu, s'est trouvé dans le mal lui-même :

Digitized by Google

comme il faut éclairer les mines, eh bien! que le feu grisou serve de gaz d'éclairage. — Ce problème vient d'être résolu de la façon la plus heureuse par un propriétaire de houillères en Belgique, qui a fait construire un appareil d'aérage destiné à recueillir et à utiliser le gaz des mines. Ce gaz monte dans une cheminée en glissant, à cause de sa légèreté spécifique, sur les couches d'air atmosphérique, et rentre dans un gazomètre, d'où il est distribué comme le gaz ordinaire.

Tel est, en quelques mots, le principe de cette nouvelle découverte, qui aura, si elle réussit, deux avantages : d'éviter les explosions et d'éclairer à fort peu de frais les rues de cette petite ville souterraine qu'on appelle les galeries d'une mine de charbon de terre.

Ce serait donc encore une preuve en faveur de la simplicité, qui est le plus haut degré de perfectionnement et auquel la raison seule aurait dû conduire depuis longtemps : le gaz qui produit des détonations est nuisible, donc qu'il soit enlevé et qu'il serve d'une manière utile.

Pour y arriver, par quelles combinaisons, par quels détours n'a-t-on pas passé depuis des siècles?

Comme nous l'avons dit, le nouveau mode d'éclairage paraît réussir en Belgique : des tubes sont déjà posés et on allume régulièrement une douzaine de becs. — Qu'on se hâte donc de terminer cette expérience; qu'on emploie tous les moyens pour la faire réussir, et que nous n'entendions plus jamais parler de ces épouvantables catastrophes des feux souterrains.

VI.

Le percement des puits ordinaires est une opération simple, qui n'est pas sans danger. L'image des souffrances auxquelles les malheureux puisatiers ont été exposés récemment dans des puits écroulés est encore présente à nos yeux. Nous devons donc remercier toutes les personnes dont les efforts ont pour but de diminuer les dangers de ces opérations. M. Doré fils, professeur des cours publics et gratuits de physique et de chimie appliquée, spécialement destinés aux ouvriers du

Digitized by Google

12e arrondissement de Paris, apporte avec son zèle habituel son contingent par ses *instructions à l'usage des ouvriers puisatiers, indiquant les causes d'asphyxie, les moyens de reconnaître leur nature et de les détruire, les premiers secours à donner aux asphyxiés dans ces circonstances.*

C'est à ces courageux travailleurs qui tous les jours sont exposés à perdre la vie dans le creusage et le curage des puits que l'auteur adresse ses conseils. « Que ne puis-je, partout où le secours de la science pourrait diminuer le nombre des victimes, faire entendre, dit-il, mes faibles conseils et avoir le bonheur de conserver à une famille son père, ce soutien matériel et moral que rien ne peut remplacer; à la jeune femme celui auquel elle vient d'unir sa destinée; à une mère un fils chéri; à l'humanité un de ses enfants! »

La mort peut frapper les puisatiers quand l'air d'un puits cesse d'entretenir la respiration, soit naturellement, soit accidentellement; dans ce cas, l'air respirable est remplacé par l'acide carbonique produit ou par la respiration de l'homme au fond du puits, ou par l'échappement de ce gaz à travers les fissures de la terre, ou encore par la combustion. Indépendamment de l'acide carbonique, d'autres gaz délétères peuvent naître de la décomposition de matières végétales ou animales, mises en contact avec de l'eau séléniteuse (renfermant du plâtre en dissolution).

Pour éviter que les eaux d'un puits ne deviennent un jour complétement insalubres, ou que le puits ne se transforme en tombeau pour les ouvriers, M. Doré conseille d'ordonner des visites régulières et des curages à des époques fixes; mais en attendant que cette mesure soit rendue obligatoire, il appelle l'attention sur la propriété désinfectante du charbon, qui est précieuse dans cette circonstance. Avant de laisser entrer les ouvriers dans un puits, on y descend un vase rempli de charbon allumé; si l'air est vicié, le charbon cesse de brûler; en s'éteignant et en se refroidissant, il remplit ses pores des gaz délétères. Au bout de quelque temps, on remonte ce vase; on rallume le charbon, et ces gaz se dégagent à l'air libre.

Digitized by Google

§ 3. — Conducteurs des ponts et chaussées.

I.

Le journal spécial est aujourd'hui un appui presque obligé pour toutes les industries publiques et manufacturières. Il est donc naturel que les conducteurs des ponts et chaussées, dont le nombre s'élève à près de 4,000, et qui ont la direction immédiate de tous les ouvrages d'utilité générale, aient cherché à ne pas rester en dehors de ce mouvement intellectuel ; ils viennent de se faire représenter dans la science pratique et dans la littérature par un propre organe qui a pour titre : *Les Annales des Conducteurs des ponts et chaussées* (Paul Dupont, éditeur), paraissant une fois par mois, et formant un recueil complet de mémoires, documents et actes officiels concernant le service de ces agents.

Ces *Annales* se présentent sous forme de cahiers, dont chacun se divise en deux parties bien distinctes : celle de la construction et celle de l'administration, ou en d'autres termes : les travaux d'art et les règlements.

Sous le titre de travaux d'art est compris un exposé correct et exact de l'analyse des matériaux de construction, formant un livre complet que les ingénieurs et les constructeurs consulteront avec fruit, et qu'ils apprécieront chaque fois que leurs connaissances théoriques devront trouver une application sur le terrain. Il est accompagné de la description des principaux édifices et d'un compte rendu succinct de toutes les publications récentes sur les constructions. Cette revue bibliographique comprend non-seulement les ouvrages français et étrangers, mais encore les journaux.

II.

Le succès assuré dont jouissent ces *Annales* se trouve dans la direction que M. J. Regnault a su leur imprimer ; en effet, le rédacteur en chef possède non-seulement la pratique des constructions, mais il prouve par maintes publications qu'il

Digitized by Google

est à la hauteur de toutes les connaissances exigées pour le personnel des travaux publics. Son *Manuel des Aspirants au grade d'ingénieur des ponts et chaussées*, qui sert de guide aux agents voyers et aux gardes du génie et de l'artillerie, est une encyclopédie complète de l'art de la construction. Ce livre, composé de quatre gros volumes, est divisé en deux parties distinctes : la partie de la théorie, comprenant les mathématiques et les sciences naturelles; celle de la pratique, renfermant un cours sommaire de routes, de chemins de fer, de ponts, de navigation intérieure, de desséchements et d'irrigations, de ports maritimes et d'architecture. Quant aux aptitudes spéciales, telles que notions de topographie, indispensables aux conducteurs des ponts et chaussées et aux agents voyers, M. Regnault les a résumées dans un *Manuel spécial*, dont la deuxième édition vient de paraître.

Tous les ouvrages de cet auteur sont accompagnés de fort nombreuses planches, dont l'exécution n'a pas été faite avec un luxe inutile, mais qui, sous le rapport de l'exactitude, ne laissent certes rien à désirer.

III.

Les conducteurs des ponts et chaussées rendent à l'Etat et aux compagnies des services utiles; ils pourront en rendre également à l'industrie privée par la mise en pratique d'une idée qui germe depuis longtemps, et qui, pour porter des fruits, n'attend plus qu'une occasion : il s'agit de l'établissement des *mercuriales des journées d'ouvriers*. Ceci demande naturellement quelques explications.

On sait que tous les produits agricoles, comme presque toutes les marchandises, sont cotés, d'après leur prix courant, dans des bulletins appelés mercuriales, et reproduits tant par les journaux de Paris que par ceux des départements. Les mercuriales guident les commerçants pour diriger leur marchandise sur les points où elle manque, et, en diminuant la quantité sur les marchés surchargés, ils établissent ainsi un équilibre entre la vente et la commande.

Ces mercuriales comprennent : les savons, les huiles, les

Digitized by Google

esprits, les sucres, les grains, les farines, les viandes, enfin toutes les choses qui donnent lieu à nos dépenses journalières. Une seule valeur, la première de toutes, la base fondamentale de tous les prix, n'est pas relevée; cette valeur, qui, en s'accumulant sur un point où elle n'est pas demandée, peut produire la misère; qui laisse, là où elle n'est pas livrée, les terrains incultes, les récoltes sur pied, les constructions inachevées; cette valeur, on le devine, c'est la journée d'ouvrier.

Pour régulariser le marché de ces journées, ou, en d'autres termes, pour mettre les ouvriers à même de quitter les localités où leurs services ne sont pas demandés, et de se transporter là où les bras manquent, un moyen simple se présente : c'est d'établir la mercuriale des journées d'ouvriers, depuis celle du terrassier, du moissonneur, du maçon, du mineur, du charpentier, du forgeron, enfin de toutes les professions. Cette mercuriale devra se trouver dans toutes les feuilles des chefs-lieux de préfecture, et être résumée par les journaux de Paris, qui donneraient également la série des prix des journées, dans la manière usitée pour les architectes de la ville.

Les journalistes pourront arriver à ce but en s'entendant entre eux, avec les maires, les constructeurs, les employés des entrepreneurs, les architectes et les conducteurs des ponts et chaussées de leur localité; avec les derniers surtout, qui surveillent les grands travaux comprenant toute espèce d'ouvrage d'architecture, de mobilier, de fourniture de vivres, et qui en connaissent les prix déduits de la journée d'ouvrier.

Il serait à désirer que cette idée, indiquée sommairement dans le journal *la Presse*, fût vulgarisée par tous les organes de la publicité.

De cette façon, l'équilibre entre le nombre des ouvriers et le travail pourra être facilement établi en réalité. Les compagnies de chemins de fer n'auraient qu'à faire des trains d'ouvriers à prix réduit, et qu'on pourrait aussi appeler *trains de plaisir*, et doublement de plaisir, pour les ouvriers qui trouveraient de l'ouvrage, pour les propriétaires et entrepreneurs

Digitized by Google

dont les travaux seraient exécutés dans les meilleures conditions possibles; et puisque c'est un plaisir de voyager, à ce qu'on croit, les ouvriers en profiteraient à leur tour.

§ 4. — Nouvelles Brouettes.

I.

M. Andraud, connu depuis longtemps par ses recherches sur l'application de l'air comprimé à la locomotion sur les chemins de fer et à toute autre industrie, dirige ses études actuellement vers un but d'un ordre moins élevé, mais plus pratique: il perfectionne les brouettes.

Dans une brochure qu'il vient de publier à ce sujet, il n'attribue plus à Pascal l'invention de ce modeste véhicule. — En général, quand on ne se contente pas de trouver, à l'époque de Pascal, la première trace d'une découverte il est de toute nécessité de la faire remonter aux Romains. C'est ce que M. Andraud n'a pas manqué de faire; aussi applique-t-il le *curriculus una rota*, petit char à une seule roue dont parle Jules César, à la brouette ordinaire.

Pour couper court à toute réclamation en priorité, nous pouvons affirmer que les Chinois ont fait usage de temps immémorial de la brouette ordinaire; ils l'ont même perfectionnée, en y mettant une voile, qui aide à la manœuvre dans les contrées où règnent des vents constants.

Si tous les canaux, toutes les routes, tous les chemins, tous les travaux publics enfin qui ne cessent d'exciter notre admiration, ont coûté tant d'argent, c'est uniquement parce qu'on les a construits avec cette pauvre brouette actuelle, qui produit peu de travail et fatigue beaucoup l'ouvrier, car presque toute la charge pèse sur ses bras; il s'agit donc de modifier sa construction d'après les indications de l'auteur.

N'ayant pas encore vu marcher ces brouettes, qu'à juste titre on peut appeler *brouettes Andraud*, ce qui est très-honorable, puisqu'il y a aussi la *brouette Pascal*, malgré l'attaque

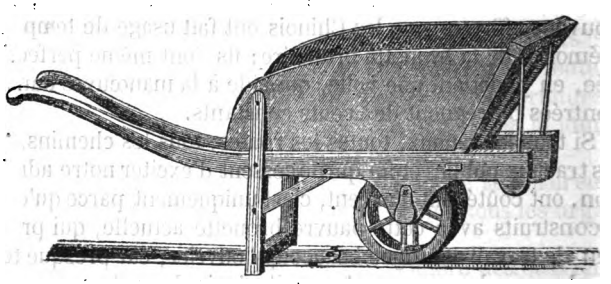
Digitized by Google

en priorité susmentionnée, — ne les ayant pas encore vues, je ne puis les faire connaître que d'après l'opuscule signalé.

La brouette ordinaire ne charge que 33 litres de terre, et l'ouvrier ne la traîne qu'à 30 mètres, puis il revient à vide; passé 100 mètres ou 3 relais, on a recours aux tombereaux, aux camions, aux wagons de terrassements remorqués par des chevaux, ou par des machines locomotives, qui roulent alors sur des voies provisoires; tout ce système qui exige un matériel énorme, est renversé avec la brouette Andraud, qui charge 50 litres sur des étendues de parcours de 300 à 400 mètres. Donc, avec un matériel très-réduit on peut établir un grand nombre d'ateliers sur toute la ligne d'opération, et activer considérablement les travaux; mais l'avantage le plus saillant qui résultera de la brouette nouvelle, c'est que sa manœuvre étant facile, on pourra donner de l'ouvrage, dans quelque pays qu'on se trouve, à tous les bras inoccupés. — Il est temps maintenant de définir cette nouvelle invention et d'entrer dans des détails.

II.

M. Andraud a établi pour ses brouettes différents types, dont voici les principaux :

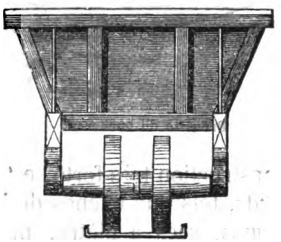


Brouette du terrassier.

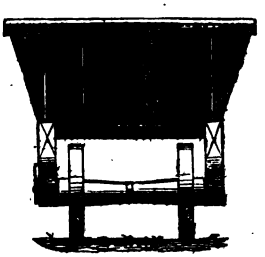
On voit que, dans sa construction, cette brouette est absolument semblable à la brouette ordinaire, sauf la roue

Digitized by Google

unique placée en avant, à laquelle est substituée une double roue placée en dessous de la caisse, un peu en avant du centre de gravité de la charge ; de sorte que les brancards étant soulevés, cette charge se trouve presque équilibrée, et ne porte que légèrement sur les bras de l'ouvrier. C'est là toute l'économie de la nouvelle brouette. — On remarque ensuite que la double roue, représentée de face par le dessin ci-dessous, est composée de deux roues indépendantes l'une



de l'autre, tournant sur le même essieu, très-rapprochées et roulant ordinairement sur un chemin de planches ; chaque planche se termine, d'un côté, par une partie circulaire saillante, et, de l'autre côté, par une partie circulaire rentrante ; les planches s'emboîtent ainsi les unes dans les autres ; au besoin même on peut les consolider au moyen de chevilles et de trous placés au centre des parties qui se joignent.

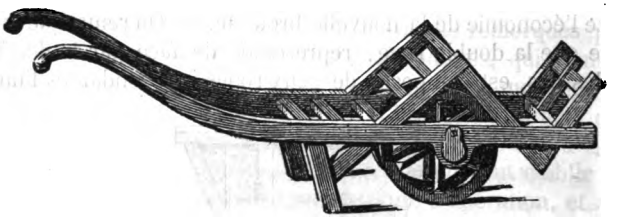


Brouette du cantonnier.

Cette brouette est la même que celle du terrassier ; seule-

Digitized by Google

ment les roues seront retournées et offriront le plus grand écartement possible, afin d'obtenir plus de stabilité sur le terrain naturel où elles fonctionneront sans le secours des chemins de planches.



Brouette du bucheron.

Ce modèle, de construction très-forte, est destiné au transport des objets lourds, tels que bûches de bois à brûler, pavés, moellons, briques, sacs à plâtre, pièces de fer ou de fonte, etc., etc. Le mode d'assemblage de cette brouette contribue à lui donner une grande solidité et permet de porter le diamètre des roues à 58 et même à 60 centimètres.

III.

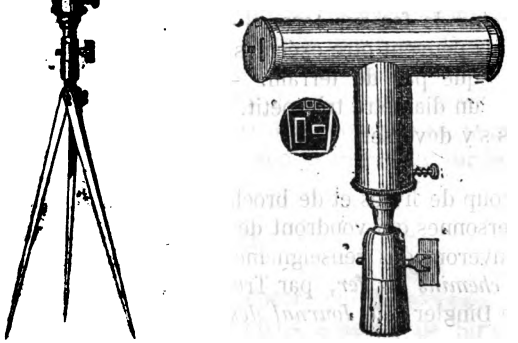
En résumé, avec la nouvelle brouette on fera deux fois plus de travail qu'avec l'ancienne; les femmes, et même les enfants, qu'on trouve partout, peuvent remplacer les hommes les plus vigoureux, qu'on rencontre rarement. Il resterait à examiner si le déchargement avec cette méthode est rendu facile, et si les planches sur lesquelles ces brouettes doivent rouler ne sont pas trop coûteuses. Telles sont les questions à examiner et à soumettre à l'expérience. Les essais préliminaires que l'inventeur a déjà faits semblent donner d'assez bons résultats. Mais en attendant qu'on applique les nouveaux véhicules pour les immenses terrassements qui se préparent sur tout le globe, il faut en parler, et, pour mon propre compte, je demanderai, chaque fois que je me trouverai sur un chantier, à voir fonctionner la brouette Andraud.

Digitized by Google

§ 5. — Niveau Charles.

Les niveaux à bulle d'air et les niveaux à eau présentent des inconvénients. Les premiers donnent, il est vrai, une très-grande exactitude, qui est obtenue par un instrument fort coûteux, mais qui est inutile pour la majeure partie des opérations. Les niveaux à bulle d'air sont indispensables pour les grands coups de niveau dans le nivellement du profil longitudinal d'un chemin de fer, d'un canal, dans la pose des pierres d'appareil. Mais pour les routes, pour les profils en travers, pour les raccordements, il est inutile de faire la dépense d'un niveau à bulle d'air, qui exige un maniement et un ajustage très-délicats. Les niveaux d'eau pourraient donc remplacer ceux à bulle d'air dans ces circonstances, mais leur transport est incommode ; l'eau peut se perdre en route, ou se congeler en hiver ; les tubes peuvent se casser facilement.

M. Charles, opticien à Paris, 34, rue des Rosiers, a imaginé un instrument qui donne des cotes exactes, qui est d'un usage commode, qui est à l'abri des détériorations, enfin qui peut servir en toute saison. En un mot, il a trouvé un niveau réunissant l'exactitude au bon marché, car il ne coûte que 30 francs.



Niveau Charles.

Digitized by Google

Cet instrument est entièrement renfermé dans un tube ou espèce de lunette. Le niveau proprement dit est un balancier auquel est suspendu un poids qui le tient toujours horizontal; à ce balancier, qui est une tige d'acier, sont fixées les plaques de visée ou pinnules.

Le premier dessin représente le niveau monté sur son pied; l'autre dessin donne les détails de l'instrument.

---

§ 6. — Chemins de fer aériens et tramways.

I.

Dans les grand travaux de routes, les terrassements constituent la partie la plus coûteuse; aussi cherche-t-on à s'en débarrasser en suspendant les lignes de circulation horizontalement au-dessus du terrain naturel.

Les chemins de fer suspendus ont été inventés et brevetés en 1845, en Allemagne; mais c'est un ingénieur anglais, Palmer, qui les a exécutés dans son pays, à titre d'essai. A cette époque, les journaux anglais se sont occupés vivement de ce système, auquel ils ont attribué les avantages suivants :

1° Les chemins à la Palmer coûtent un dixième du prix des chemins de fer sur terre. — 2° Leur construction est simple; ils peuvent être exécutés partout. — 3° Ils n'occupent presque pas de terrain. — 4° Ils peuvent avoir des courbes d'un diamètre très-petit. — 5° Les wagons ne peuvent pas s'y déverser.

Beaucoup de livres et de brochures ont paru sur ce sujet, et les personnes qui voudront de nouveau étudier cette question trouveront des renseignements très-précis dans l'*Essai sur les chemins de fer*, par Tredgold; le *Journal polytechnique* de Dingler; le *Journal des Constructions*, par Crellé;

Digitized by Google

le *Bulletin technologique* de Ferrussac; les *Comptes rendus de la Société industrielle de Berlin.*

Dans tous ces livres on voit un terrain accidenté, des poteaux grands ou petits, enfoncés de distance en distance, un rail placé horizontalement sur ces poteaux, un cheval qui traîne la roue avec ses nacelles ou *wagons volants*, — voilà au moins un mot nouveau.

En 1854, la direction de la forteresse de Posen, en Prusse, a fait établir, pour le transport des matériaux, un chemin suspendu sur une longueur de 1,500 mètres. Depuis 1834 jusqu'en 1856, ce chemin de fer a coûté 50,000 fr., dont 12,000 fr. de premier établissement. Dans ces vingt-trois ans, l'entretien a demandé une somme de 38,000 fr., donc 1,600 fr. par an. On a économisé, comparativement au mode ordinaire de transport, une somme de 66,000 fr., soit à peu près 3,000 fr. par an.

A part cet exemple, il paraît qu'on ne veut pas de ces chemins, du moins avec leur ancienne dénomination; peut-être les fera-t-on accepter sous un autre nom. C'est probablement cette raison qui a guidé un ingénieur polonais de les appeler *chemins statiques*, et de faire paraître un écrit sur les immenses avantages qu'auraient ces voies sur les chemins de fer actuels.

Ces chemins statiques ne diffèrent des chemins à la Palmer que sous le rapport de la traction; l'auteur de la brochure est d'avis de placer dans les premières nacelles du train une machine à vapeur qui ferait tourner une roue dentée sur un rail à engrenages. Ce mode serait avantageux pour le passage des rivières, où la traction par des chevaux offrirait des difficultés, car il faut alors un sentier, ce qui n'est plus nécessaire dès que la force d'impulsion est produite sur le convoi même.

II.

L'idée du rail suspendu a encore été développée dans le chemin de fer aérien de M. Louis Schertz, de Strasbourg.

Digitized by Google

Encore en projet et en modèle, il figurait sur le catalogue de la dernière Exposition universelle, mais point dans le palais de l'Industrie, où l'on n'avait pu lui accorder l'emplacement demandé. Quoi qu'il en soit, ce mode de transport mérite d'être signalé, ne serait-ce qu'à cause de son auteur : M. L. Schertz est un esprit inventif auquel revient une grande part de la gloire, — si gloire il y a, — d'avoir introduit en France les ponts suspendus en fil de fer ; il a établi un des premiers une passerelle suspendue pour piétons, qui existe en état de viabilité depuis trente ans.

Son chemin comprend une série de câbles suspendus à des poteaux qui sont fixés dans le sol. Les wagons sont placés des deux côtés, comme dans le système Palmer. Arrivés au milieu du câble, les véhicules montent par la vitesse acquise vers le côté opposé, où ils sont soulevés avec un contre-poids agissant par en bas. Ce contre-poids est mu par un treuil, et toujours prêt à fonctionner au moment du passage des convois.

D'après ce plan, de grandes promesses sont également faites : économie notable dans la construction, dont les dépenses se bornent à celle des câbles, des contre-poids, des poteaux ; pas de terrains, pas de terrassements, pas d'ouvrages d'art. Les câbles serviraient en outre de fils pour la télégraphie électrique.

A ce sujet formons le souhait : que M. Schertz veuille faire un essai en grand de son chemin de fer à câbles suspendus, et qu'il réussisse dans l'exécution de son projet.

III.

Une certaine crainte de voyager dans les airs nous ramène de nouveau sur terre, et les réflexions économiques nous conduisent directement aux *tramways*, ou chemins de fer à chevaux, tels qu'ils existent depuis longtemps en Amérique ; de là le nom de *chemins américains*.

Il semble que le problème de l'installation de ces voies soit définitivement résolu, et que le chemin de la place de la Concorde en ait fixé le modèle dans sa dernière perfection.

Digitized by Google

M. le comte d'Adhémar n'est pas de cet avis. Dans une brochure qu'il vient de publier, il proteste contre cette espèce d'isolement dans lequel se trouvent encore les tramways, dont il analyse les divers modes d'installation, qui, au fait, n'ont qu'une seule et même base : une bande de fer clouée sur une pièce de bois ou attachée sur des dés en pierre et placée de niveau avec la route empierrée.

Le côté pratique de cette brochure ce sont les devis détaillés sur la pose de ces Tramways, qu'à titre de conclusion, l'auteur recommande d'urgence comme complément indispensable des chemins de fer actuels avec les locomotives.

IV.

En attendant que ces systèmes américains et les wagons à une roue remplacent nos chemins de fer actuels, accueillons avec empressement tous les perfectionnements qui nous promettent la sécurité sur ces voies, et à ce titre, nous devons signaler l'invention de M. de Castro, ingénieur en chef des mines du gouvernement d'Espagne. Il lui est arrivé, comme presque à tous les inventeurs, que la priorité de sa conception a été contestée; car, dès qu'une invention se produit avec quelques chances de succès, il se présente en même temps de nombreux inventeurs qui réclament le bénéfice de cette chance.

M. de Castro a protesté devant le public, et il a eu gain de cause. Maintenant il fait une nouvelle réclamation, non pas pour se plaindre d'un rang inférieur qu'on lui aurait assigné, mais d'un oubli absolu dont il est victime dans le livre intitulé : *Cours théorique et pratique de télégraphie électrique, par M. l'inspecteur des lignes télégraphiques.*

Indiquer le titre de ce livre, c'est signaler en quelque sorte la découverte en question; il s'agit de l'application de l'électricité aux moyens préventifs contre les accidents sur les chemins de fer.

M. le vicomte Dumoncel, dans son excellent *Exposé des applications de l'électricité*, s'exprime favorablement à ce sujet. — Mais, comme tous les inventeurs, car il est aussi de

Digitized by Google

ce nombre, il se plaint de ce que nos compagnies n'acceptent qu'avec un empressement très-modéré les innovations qu'on leur présente; cela ne l'empêche pas de plaider sa cause, et en même temps avec une grande libéralité celle de ses concurrents en fait d'inventions électriques.

Il classe son système et celui de M. de Castro dans la troisième catégorie, sous le nom de systèmes automatiques par avertissement. Il admet cinq catégories en tout : les systèmes contrôleurs, systèmes automatiques par arrêts de convoi, etc., etc.

Ils ont tous pour but de produire un signal d'alarme sur la locomotive aussitôt que le train se trouve à une distance jugée dangereuse par rapport à un autre train ou à un obstacle qui pourrait occasionner un accident.

V.

La règle d'après laquelle est établi le *Moniteur électrique de Castro* est celle des télégraphes ordinaires. Il s'agit de faire porter à chaque train un générateur dont l'un des pôles est en communication avec la terre par les rails, tandis que l'autre pôle est mis en contact, au moyen d'un frotteur, avec un fil conducteur isolé, placé le long de la voie. C'est ainsi qu'on arrive à fermer le circuit électrique et à donner le signal voulu.

C'est d'après ce principe, rapidement esquissé, que de nombreux inventeurs ont travaillé pour établir une liaison entre les gares et les convois en course.

Des modifications de détails des divers organes, tant pour les générateurs de l'électricité que pour la transmission, constituent la différence entre ces systèmes, mais au fond ils sont les mêmes : celui de M. de Castro a reçu, sur les chemins d'Espagne, la sanction des essais en grand, qui ont eu lieu devant les autorités compétentes.

Tel est, en résumé, la solution du problème; avant de la perfectionner, supposons qu'elle le soit et qu'elle ne laisse rien à désirer sous ce rapport, et demandons aux compagnies

Digitized by Google

si elles sont d'avis de l'expérimenter et de l'adopter, ou, en d'autres termes, si ce système est d'une utilité incontestable pour assurer le service d'une ligne.

Tant que cette question ne sera pas résolue, nous devons nous contenter de laisser les inventeurs prendre leur rang ; aussi avons-nous commencé par enregistrer la protestation toute juste de M. de Castro contre un oubli dans le livre précité.

VI.

Il reste à signaler, à titre de progrès de la science des chemins de fer, un travail remarquable ayant pour but la représentation graphique du développement successif de ces nouvelles voies de communication. L'*Atlas chronologique des chemins de fer français*, par M. Anatole Chatelain, géographe, nous montre ce développement depuis l'origine jusqu'à nos jours.

Cet atlas, publié par la librairie Lacroix et Baudry, se compose de huit cartes, dont les six premières représentent, à différentes époques, la situation du réseau concédé ou entrepris par l'Etat. La septième carte donne l'aperçu comparé des concessions; enfin, la huitième indique l'accroissement successif des lignes concédées par compagnie.

Une neuvième carte, qui vient de paraître séparément, complète cet atlas ; elle donne l'état exact de toutes nos lignes au commencement de cette année. Il serait à désirer que M. A. Chatelain publiât annuellement une nouvelle situation, de manière que son travail pût constituer le grand livre des chemins de fer.

Cet atlas et cette carte spéciale sont correctement dessinés, et les planches en sont disposées avec beaucoup de clarté et de goût.

Je terminerai ces indications sur les railways par la reproduction d'une analyse que M. Victor Bois a bien voulu faire de mon livre sur la construction des chemins de fer.

Digitized by Google

§ 7. — Compte rendu du Manuel de la construction des chemins de fer, par Emile With.

(Extrait du journal l'*Estafette*.)

I.

De toutes les questions dont l'étude intéresse le plus grand nombre, celle des chemins de fer doit être incontestablement placée au premier rang. Elle comporte, en effet, une si grande diversité de connaissances; elle occupe une si grande variété de talents; elle embrasse tant d'intérêts distincts, qu'il semble que tout le monde s'intéresse à divers titres à la solution des questions administratives, industrielles ou financières qui se rattachent, de près ou de loin, à la construction de ces grandes voies de communication, qui transforment peu à peu les conditions d'économie politique et les rapports internationaux.

Tout est dans tout, disait Jacotot; on peut dire avec encore plus de raison : Tout est renfermé dans la question des chemins de fer; nous sommes à peu près tous plus ou moins ingénieurs, administrateurs ou constructeurs, mais nous sommes tous à coup sûr propriétaires, actionnaires ou travailleurs; or, toutes ces classes doivent s'intéresser à l'étude de toutes les questions que soulève la construction et l'établissement de ces voies nouvelles que le dix-neuvième siècle a eu la gloire d'inaugurer.

Aussi pensons-nous avec raison que l'éditeur qui entreprendrait aujourd'hui une encyclopédie des chemins de fer, non-seulement élèverait un monument utile à son pays, mais encore ferait une fortune, surtout si, pour chacun des articles que comprendrait un pareil sujet, il s'adressait aux spécialités que le public désigne à juste titre comme ayant depuis longtemps appris ces questions en en poursuivant la solution. Avons-nous besoin de citer Pereire, Flachat, Perdonnet, Lechatelier, Sauvage, Petiet, Couche et tant d'autres que tout le monde connaît, que tout le monde désigne. Mais, avant

Digitized by Google

que cette encyclopédie soit faite, voici venir M. l'ingénieur civil Emile With, qui apporte sa pierre à l'édifice, qui soulève un coin du voile, et nous invite à le suivre vers ces horizons si vastes et si intéressants.

C'est un véritable manuel que son livre; il prend l'industrie des chemins de fer à son berceau, il nous montre les chemins à ornières prenant naissance en Allemagne et en Angleterre pour servir à l'exploitation des mines; les voitures, en passant toujours suivant le même axe avec le même écartement de voie charretière, tracent l'empreinte de leurs roues sur le sol mal affermi; des ornières se forment, s'agrandissent et deviennent bientôt impossibles; l'idée vient alors de mettre dans le fond des planches en bois pour niveler les trous, pour arrêter le défoncement. Mais les madriers sont insuffisants, il faut mettre des longrines, des arbres équarris; on pense aussi à revêtir de bois les parois latérales, et on a de véritables fossés revêtus de bois; mais les longrines s'usent, il faut les recouvrir d'une matière plus dure, et on pense au fer; on recouvre le bois, on fixe les bandes de fer avec des clous. Bientôt ces clous sont cassés, enlevés, insuffisants; il faut chercher, tâtonner, et à force de tâtonner on trouve la construction de la voie telle qu'elle est aujourd'hui. On avait des fossés boisés et ferrés, on veut établir des longrines sans les enterrer sur des routes où les fossés n'étaient pas creusés par les roues; on invente alors les *edge-rails*, les rails à rebord qui empêchent les roues de sortir de la voie en les maintenant latéralement; puis on songe que, pour atteindre ce but, il est bien inutile d'avoir un rebord extérieur sur chacun des rails dans toute la longueur de la voie. On pense qu'au lieu de fossés, qu'au lieu de rebords, on peut faire des rails entièrement plats en mettant des rebords aux roues elles-mêmes pour éviter les mouvements latéraux et les déraillements, et le progrès s'achemine peu à peu vers les traverses destinées à recevoir deux coussinets en fonte supportant deux rails à double champignon dont le poids par mètre augmente successivement à mesure que le poids des locomotives et des voitures de transport s'augmente avec l'augmentation du trafic.

Digitized by Google

M. Emile With nous fait assister aussi aux études et aux recherches qu'entraîne la construction des moteurs; il prend la locomotion à sa naissance : c'est d'abord une locomobile marchant sur les routes ordinaires, puis on essaie les machines fixes, puis les plans automoteurs, et on s'arrête définitivement à un remorqueur à vapeur roulant avec le train et le traînant après lui. Chacun sait les difficultés qu'on cherchait à vaincre lors de l'éclosion de ces machines puissantes qui traînent aujourd'hui jusqu'à trente-cinq voitures à une vitesse de 40 kilomètres à l'heure, et qui dans les trains express font jusqu'à 90 kilomètres à l'heure, en développant plus de cent chevaux de force de 75 kilogrammètres.

On craignait que les rails ne présentassent pas assez d'adhérence et que les roues tournant sur place ne produisissent aucun travail de locomotion : alors celui-ci invente des leviers faisant fonctions de jambes; celui-là imagine de denter les roues motrices et d'établir sur toute la longueur de la voie une crémaillère sur laquelle roulent en s'engrenant les roues de la machine motrice; puis, quand tous ces efforts d'imagination sont faits à grand'peine, à grands frais, on s'aperçoit que l'adhérence est suffisante et que tous ces efforts sont inutiles, et certes, c'était là une bonne fortune pour ce nouveau mode de transport, puisque si par malheur l'adhérence n'avait pas suffi, c'en était fait de la nouvelle invention, les chemins de fer n'auraient pu exister avec un tel attirail de machinerie.

II.

A partir de ce moment, les progrès se font à pas de géant, la chaudière tubulaire est inventée, on découvre le *blast-pipe*, c'est-à-dire le tirage forcé au moyen de l'échappement de vapeur. Dès lors, la machine locomotive est créée, et les trains à 40, 50 et 60 kilomètres à l'heure se font avec une ou deux locomotives, puis on reconnaît tous les inconvénients que présente l'accouplement des machines, et l'on augmente leur force, leur poids, le diamètre de leurs pistons; on accouple leur roues et on remorque les plus grands convois

Digitized by Google

qui exigeaient naguère deux machines attelées. Ce n'est pas tout, nous marchions de 40 à 50 kilomètres à l'heure, c'était déjà aller quatre ou cinq fois plus vite que sur les routes ordinaires : cela ne nous suffit plus, il nous faut marcher à 80 ou 90 kilomètres, et Crampton nous livre des machines qui font 88 kilomètres à l'heure, non compris l'arrêt aux stations.

M. Emile With aborde tous ces sujets et nous initie ensuite à la construction même de la voie. Cette partie technique de son livre a le double avantage d'être intéressante à la fois pour les hommes spéciaux, pour les ingénieurs et pour ceux qui ne le sont pas ; à ces derniers il apprend comment s'aplanissent les terrains trop élevés par les déblais, comment se percent les montagnes par des tunnels, comment se comblent les vallées par des remblais, comment se traversent les rivières et les routes par des ponts et par des viaducs ; aux ingénieurs français il apprend comment se comporte la construction à l'étranger ; il ne se contente pas des exemples qu'il a sous les yeux, il va les puiser chez nos voisins partout où les modèles sont bons, partout où il trouve de bons exemples à suivre et à offrir au public. C'est avec ce procédé que M. Emile With a su se rendre intéressant à tout le monde, aux savants comme aux ignorants, à tous ceux qui, de près ou de loin, touchent aux chemins de fer, les font vivre ou en vivent.

III.

Mais c'est surtout dans le deuxième volume de son *Manuel de la construction des chemins de fer* que M. Emile With a rendu un véritable service. Cette seconde partie comprend un formulaire aussi complet que possible des charges et conditions pour l'établissement des travaux et la série des prix pour les diverses fournitures.

Énoncer ce titre, n'est-ce pas faire comprendre toute son utilité? Quel est l'ingénieur, quel est l'entrepreneur, quel est l'administrateur, quel est l'employé qui ne voudra pas avoir ce recueil qui contient tous les secrets de la majorité des

Digitized by Google

compagnies ; chacune d'elles, chaque ingénieur a une partie de ces documents, mais qui peut se vanter de les avoir tous? C'est à l'aide d'une patience persévérante, c'est grâce à ses relations avec les ingénieurs des compagnies que M. Emile With a pu se les procurer; nous l'en félicitons, et nous l'en remercions; il a fait là une œuvre utile pour tous. En consacrant son temps à ce travail, il a économisé le nôtre, c'est-à-dire qu'il nous a rendu le plus grand service qu'on puisse rendre à ce siècle, qui a adopté cette maxime qui le résume : *Time is money*.

VICTOR BOIS, ingénieur civil.

---

§ 8. — Expositions universelles de l'industrie.

I.

Les expositions universelles de l'industrie qui ont eu lieu dans ces dernières années ont constaté l'utilité de ces sortes de manifestations; je crois donc qu'il n'est pas inopportun d'indiquer les bases d'après lesquelles les expositions qui vont continuer l'œuvre commencée devront être établies.

Le rapport présenté par S. A. I. le prince Napoléon à Sa Majesté l'Empereur fournit tous les éléments d'une pareille appréciation.

Ce travail se divise en deux parties principales : celle du passé, celle de l'avenir.

Dans la première partie, qui renferme les aperçus statistiques, sont relatés l'organisation et les règlements au sujet de l'agencement du local et au placement des produits. — La deuxième partie, celle de l'avenir, comprend des observations que l'expérience a suggérées; elles peuvent servir d'enseignement pour les expositions futures et être formulées dans les propositions suivantes :

1° Les expositions universelles doivent remplacer les expositions nationales ; car elles seules permettent de marcher à

Digitized by Google

la véritable organisation industrielle et commerciale du monde.

2° Les expositions mettent en rapport tous les savants du globe, et les jurys deviennent de véritables conciles dans lesquels se discutent les questions les plus ardues et les problèmes les plus difficiles de l'ordre matériel.

3° Ces expositions permettent de constater devant le public les découvertes et les perfectionnements.

4° Les expositions doivent être universelles quant aux exposants, attendu que toutes les nations doivent être appelées; mais elles doivent être partielles quant au genre des objets exposés. Les difficultés pour loger les produits de tous les industriels deviennent de plus en plus nombreuses, et elles excluent la fréquence des expositions.

5° Une exposition partielle comprendrait un des cinq groupes suivants : les beaux-arts; l'agriculture avec les matières premières; les instruments de production; les produits fabriqués; enfin, l'économie domestique.

6° Les expositions universelles des groupes réunis pourront avoir lieu tous les 50 ans; elles seront l'image du progrès d'une époque; les expositions pour chaque groupe devront avoir lieu fréquemment.

7° Le principe d'un prix d'entrée au palais devra être maintenu.

8° L'organisation la plus rationnelle des expositions est d'en laisser la direction aux particuliers.

9° Londres et Paris seront les seuls endroits des expositions universelles.

10° Les bâtiments des expositions de groupes réunis doivent être légers, temporaires, et être disposés transversalement pour les nationalités et longitudinalement pour les produits; alors, quand on voudra étudier l'industrie d'un pays, on l'aura ainsi sur un point; il suffira de parcourir la galerie dans le sens transversal; désirera-t-on étudier un groupe de produits, on suivra le sens longitudinal, et on pourra ainsi faire la comparaison des progrès entre les différents peuples.

Digitized by Google

II.

Le règlement de l'exposition de Paris de 1855 a donné satisfaction à toutes les exigences, mais il renferme néanmoins plusieurs principes qui sont encore en voie de discussion, savoir : si les législations douanières peuvent subsister telles qu'elles existent; — quelle décision doit être prise à l'égard des prix de vente; — enfin, si les jurys de récompenses satisfont au but qui les a fait instituer.

C'est à l'examen de ces trois questions que Son Altesse Impériale consacre la fin de ses considérations générales.

Il en résulte que les législations douanières subissent de grandes modifications sous l'influence des expositions universelles, et qu'elles tendent à la substitution des droits fiscaux aux droits protecteurs perpétuels. La raison en est simple : les études faites en 1855 ont démontré que les industries arriérées étaient celles qui vivaient à l'abri des prohibitions.

En résumé, il faut, dans ce cas spécial, faire peu de théorie et beaucoup de pratique : ne pas poser des principes généraux, mais reviser chaque tarif séparément, le discuter et ne prononcer une réduction que lorsqu'elle aura été reconnue véritablement utile.

Quant aux droits d'entrée des produits prohibés, ils avaient été fixés à 20 pour cent de leur valeur; dans les expositions futures, il faudra se prononcer pour l'entrée en franchise de ces produits, mais en nombre limité et comme échantillons.

Nous voici arrivé à la dernière question, qui est la plus difficile : celle des prix ; faut-il en interdire la publication, faut-il la rendre obligatoire ou la laisser facultative?

Après avoir analysé cette question sous sa triple face, et après avoir recherché ce qui s'était fait dans les autres expositions, Son Altesse Impériale est conduite à l'indication obligatoire des prix, qui sont un élément essentiel de jugement.

Comme dernière règle on propose la suppression du jury international des récompenses, ou au moins une modification profonde dans le rôle qu'il doit remplir.

Un double préjugé a donné naissance aux jurys des ré-

Digitized by Google

compenses. Les progrès industriels n'ont pas besoin d'être provoqués et encouragés par une autorité, comme on le croit faussement; en second lieu, le public, pour être éclairé dans ses achats, n'a besoin d'autre lumière que de celle de son intérêt. — Les jugements du jury sous la forme de médailles et de diplômes sont une véritable sentence à laquelle on est invité à se soumettre. C'est bien dans ce sens que les industriels l'entendent : les récompenses deviennent entre leurs mains un moyen de monopole, une arme dont ils font usage contre leurs concurrents.

Du reste, la masse des aspirants aux récompenses se décompose de la manière suivante : 1° ceux que le suffrage de tous signale d'une manière incontestable, et qui s'imposent par le mérite; 2° ceux qui laissent place au doute; 3° ceux dont l'insuffisance est visible au premier examen.

Comme le jugement du jury est inutile pour les premiers et pour les troisièmes, il ne peut s'exercer que sur les douteux; mais pour ceux-ci précisément la mission du jury devient difficile. L'inégalité extrême des moyens d'appréciation conduit au hasard, qui traîne à sa suite l'injustice, comme l'auteur le dit par cette gracieuse image.

Mais, comme en définitive le vrai rôle des jurys est d'étudier les perfectionnements, de les signaler aux producteurs et d'appeler l'attention des industriels sur les branches où l'état de la production laisse à désirer, il est évident qu'aux jurys des récompenses doivent être substitués des jurys d'études pour faire des observations et pour émettre des vœux. Ainsi transformé, un jury verra ses opérations devenir faciles et fructueuses.

Telles sont les règles correctement exposées par Son Altesse Impériale qui devront nous guider désormais dans la marche vers le progrès de l'industrie.

Digitized by Google

§ 9. — Mouvement perpétuel.

I.

Mon désir est de donner une tendance pratique à ce dernier chapitre, en y inscrivant les progrès industriels et en marquant surtout les inventions à faire, ou les perfectionnements à y apporter.

Mais si c'est rendre service que de signaler les inventions positives, c'est, je crois, se montrer également utile que de définir nettement les questions qui devraient être reléguées dans l'oubli.

Parmi ces dernières figurent le mouvement perpétuel et ses corollaires, *qui aujourd'hui encore ont des partisans dont le nombre est bien plus considérable qu'on ne le pense généralement;* je crois donc devoir y insister, malgré ce qui en a déjà été dit dans les chapitres précédents.

Cette découverte imaginaire diffère de celle de la quadrature du cercle ou autres exercices anti-mathématiques, en ce sens que, pour la faire, il faut plus que du papier et de la patience; il faut des instruments, des outils, des matériaux, tout un attirail de construction de machines, en un mot, il faut de l'argent, et comme les chercheurs du mouvement perpétuel ne peuvent pas en gagner, leur travail est pernicieux.

Faisons donc notre possible, non pas pour guérir l'espèce humaine de cette maladie, qui, du reste, est incurable, mais pour engager les personnes encore saines d'esprit de ne pas s'engager dans cette voie funeste; si elles faisaient usage de la moindre notion en fait de mathématiques ou de mécanique, elles s'abstiendraient immédiatement de leur labeur; si cependant elles poursuivaient l'exécution de leur œuvre, elles finiraient par se ruiner complétement, et elles deviendraient un objet de risée pour le public.

On a fait la remarque que les mouvements perpétuels (*perpetuum mobile*) prennent naissance à deux époques précises de l'année, au printemps et à l'entrée de l'hiver. Il est re-

Digitized by Google

connu qu'à ces deux saisons le sang de l'homme subit une révolution qui exerce une certaine influence sur les facultés intellectuelles.

Ces prémisses s'adressent à toutes les classes, sans distinction aucune ; car les chercheurs de *perpetuum* se trouvent sur tous les degrés de l'échelle sociale. — Il s'agit maintenant d'entrer dans quelques détails, et si par cet exposé nous arrivons à ne détourner de cette voie funeste qu'un seul individu, notre tâche n'aura pas été ingrate.

II.

Le *perpetuum mobile* est une machine mise en mouvement par sa propre impulsion. Ainsi un poids quelconque descendant doit faire marcher un mécanisme qui remontera un autre poids ; ce poids remonté descendra à son tour, et ainsi perpétuellement. Quelle que soit la combinaison du mécanisme, quelle que soit la nature de ce poids, car c'est toujours un poids, une force s'épuise à la fin ; il faudra toujours que le poids remonté soit plus lourd ou moins lourd que le poids descendant. —On voit déjà l'absurdité de ce problème : en effet, si ces deux poids étaient égaux, la machine s'arrêterait comme les deux plateaux d'une balance. Ordinairement c'est avec une machine placée dans un puits qu'on cherche à atteindre le but. Une partie de l'eau remontée servirait pour faire marcher la machine.

Il est vrai que des mécaniciens habiles sont parvenus, par des artifices ingénieux, à écarter la difficulté, en empruntant à l'électricité, à la gravité, ou à la chaleur naturelle, la force motrice. L'empereur Napoléon Ier avait commandé à un célèbre horloger de Paris une montre devant marcher toujours, sans jamais être remontée, — avec une clef, bien entendu.— Cette montre, dont le prix de fabrique est de 60,000 francs, avait été exposée dans le palais de l'Industrie en 1855 ; elle marche depuis un demi-siècle, elle marchera éternellement, à une seule condition : c'est qu'on la mette dans sa poche, et qu'on se promène ensuite pendant quelques minutes tous les

Digitized by Google

deux ou trois jours. Le mouvement de la marche est communiqué à un balancier caché qui s'élève et s'abaisse, et qui remonte ainsi le ressort. Voilà tout le secret, qu'on ne devinera certes pas au premier moment.

C'est dans un mécanisme qui n'a jamais fonctionné de lui-même que des générations d'inventeurs ont cru découvrir le secret impossible. Tous les faits de la nature nous prouvent que les substances matérielles ne peuvent elles-mêmes se donner une impulsion. Nous voyons sur la terre tous les mouvements s'arrêter avec promptitude, car ils sont absorbés par les frottements, ou ils se communiquent aux corps environnants, et cette déperdition des forces les ramène vite à l'état de repos, et comme rien ne restitue la force perdue, il y a un arrêt infaillible.

La force initiale qui nous attire, ainsi que tout ce qui nous entoure, vers la terre, et qui fait mouvoir les astres, qui ne rencontrent aucun obstacle dans les espaces célestes, cette force seule est éternelle : elle n'appartient qu'à Dieu.

III.

On peut se demander alors comment il se fait que les inventeurs persistent dans la fausse route quand la voie du bon sens leur est si facilement ouverte. Les raisons ne manquent pas pour justifier leur entêtement : la marche éternelle se trouve dans la nature, il s'agit d'en pénétrer les mystères ; les académies qui condamnent le *perpetuum mobile* peuvent se tromper, elles ont condamné bien d'autres inventions déjà ; ce que les uns n'ont pas imaginé, les autres peuvent le découvrir. Les machines perpétuelles construites par milliers ont des défauts ; ce qui les empêche de marcher, ce sont certains frottements qu'il s'agit de neutraliser. Il y a des mécanismes qui marchent d'eux-mêmes pendant des années, qui peuvent marcher pendant des siècles, comme la fameuse horloge de Strasbourg, et alors on peut arriver par une combinaison quelconque, qu'on finira par trouver ! à les faire fonctionner indéfiniment, éternellement.

Digitized by Google

Dans le mouvement perpétuel, qui donne une impulsion à la matière, comme dans la pierre philosophale, qui change cette matière en or, il y a, — il faut le reconnaître, — quelque chose de séduisant, à une époque surtout où l'on cherche avec tant d'avidité de l'or pour les plaisirs et une force commode et peu coûteuse pour le travail.

Mais ne poursuivons pas davantage ces recherches, car cette pierre philosophale existe réellement ; oui, elle existe : le prêtre la possède dans sa foi, l'écrivain dans son imagination, le soldat dans son dévouement, l'ouvrier dans sa force ; nous tous nous la possédons dans notre cœur. La pierre philosophale doit donner honneur et richesses, et, plus que cela, elle doit offrir le bonheur et la satisfaction du devoir accompli. Eh bien ! nous y arrivons tous par l'amour du travail et le dédain de l'intrigue.

---

§ 10. — Dictionnaire technologique par M. de Chesnel.

J'ai été sur le point d'indiquer un progrès à faire dans le domaine de la technologie, et qui est la confection d'un dictionnaire technologique complet, quand j'ai eu connaissance par hasard d'un excellent travail qui comble précisément cette lacune.

C'est le *Dictionnaire de technologie, d'étymologie et de définition des termes employés dans les arts et métiers*, par M. de Chesnel. Je suis heureux d'être le premier, je le crois du moins, à annoncer ce livre ; il est fait par un esprit sérieux qui a su imprimer à chaque article résumant la définition d'un mot le cachet d'un savoir profond et d'une étude consciencieuse. — Pour que le personnel des travaux publics et de l'industrie manufacturière ne cherche pas en vain ce livre, je lèverai le voile sous lequel il est caché. Il fait partie des 60 tomes de l'*Encyclopédie théologique*, ou de la *Troisième et dernière série de dictionnaires sur toutes les parties de la science religieuse*, par M. l'abbé Migne. (Paris, 1858. Migne,

Digitized by Google

éditeur, aux ateliers catholiques, rue d'Amboise, au Petit-Montrouge.)

Ce dictionnaire forme deux gros volumes, dans lesquels chaque mot appartenant à une branche quelconque de la technologie est inscrit avec son étymologie, sa traduction en allemand et en anglais; — l'origine de la découverte, l'exposé chronologique des perfectionnements de tous les objets industriels y sont rapportés.

Pour éviter toute confusion avec la terminologie, l'auteur a nettement défini la technologie, qui est la science des professions industrielles; elle comprend l'analyse des procédés employés dans tous les métiers.

C'est aux termes seuls des arts et métiers que s'applique ce dictionnaire, dans lequel on chercherait en vain les expressions des mathématiques pures, de l'astronomie, de la médecine, de l'histoire naturelle, de la marine, etc.; mais tout ce qui est outil, instrument, matière première destinée à être transformée pour nous loger, nous habiller, nourrir, transporter, enfin tout ce qui se rapporte à la satisfaction de nos besoins matériels y trouve sa place.

Tel est sommairement l'objet de cet ouvrage, qui vient de paraître. Il constate l'état actuel de l'industrie, mais il s'arrête, tandis que l'industrie marche constamment; les inventions, les perfectionnements sont nombreux; tous les jours il s'en produit, il faut donc imaginer de nouveaux termes appropriés aux idées nouvelles, ou traduire ceux que l'échange continuel entre les nations nous amène. Un travail sur la technologie serait bientôt dépassé par la technologie même, s'il ne la suivait d'un pas égal. Pour atteindre ce but, il est facile de joindre un supplément qui continuera l'œuvre commencée, et représentera, par les nouveaux mots introduits dans la technologie, les progrès réels de l'industrie.

En annonçant le livre de M. de Chesnel, j'ai commencé par constater un progrès; je terminerai donc en indiquant comme un progrès à faire, cette publication annuelle d'une petite brochure de quelques pages ayant pour titre : *Suite au Dictionnaire technologique précité, faisant connaître les termes techniques créés dans l'année qui vient de s'écouler.*

Digitized by Google

L'auteur d'un pareil opuscule fera une œuvre méritoire, utile, qui pourra, dans un avenir peu éloigné, devenir la source d'une spéculation lucrative.

---

§ 11. — Tendance de ce dernier chapitre. — Conclusions.

I.

Quand on jette un coup d'œil sur les méthodes d'utiliser les forces de la nature, on comprend difficilement que les hommes n'aient voyagé qu'avec une vitesse de dix lieues à l'heure, en s'exposant en outre à des explosions de machines et à des accidents de toute nature; on ne comprend pas du tout qu'ayant connu les effets de l'électricité, ils aient dû aller sous terre chercher du charbon pour alimenter d'immenses mécanismes informes, lourds, dangereux, et qui rendaient, comparativement à leur poids, de si faibles services; on se fait une idée peu exacte de l'usage de la télégraphie électro-magnétique, qui n'expédie des dépêches qu'avec des prix inaccessibles pour les classes inférieures de la société, et surtout avec des lenteurs inconcevables, car il faut encore se rendre dans les stations télégraphiques.

On regarde avec une curiosité bienveillante ces images noires ou brunes qu'on appelle des photographies; on examine avec intérêt ces contrefaçons des métaux précieux, ouvrages primitifs de la galvanoplastie.

Ces pauvres humains, qui gelaient en hiver, qui étouffaient en été, qui s'éclairaient avec du gaz, — quand ils en avaient, — avec du gaz qui ne brille pas beaucoup et qui sent si mauvais; ils cherchaient à se réchauffer avec du combustible qui ne donne presque pas de chaleur, et qu'ils ne pouvaient se procurer qu'à grands frais; et à côté de ces hommes vivaient, à l'état complétement sauvage, d'autres hommes qui mangaient des poissons crus et qui se dévoraient entre eux, ce qui a été constaté par des navigateurs qui, de

Digitized by Google

pays lointains, ont apporté quelques semblants de produits industriels pour la grande exhibition universelle qui eut lieu à Paris en l'an de grâce 1855, où l'on fêtait tant et plus les progrès de la civilisation.

Pauvre, pauvre humanité!

C'est ainsi que parleront de nous, à coup sûr, nos descendants, quand ils voyageront à raison de cent lieues à l'heure, sans danger aucun, sans fatigue aucune; quand ils ne se serviront plus d'autres machines que de celles alimentées par l'électricité naturelle; quand leurs maisons seront chauffées et éclairées par le feu du centre de la terre, et dont le prix sera nul, dont la magnificence égalera celle du soleil.

Nos descendants correspondront de vive voix à travers les mers, sur tous les points du globe, car partout le génie de la civilisation aura étendu ses ailes. Le fluide électrique sera docile un jour, comme le sont déjà maintenant les rayons du soleil, qu'on emprisonne dans un atelier pour leur faire faire le travail de graveur et de dessinateur; le fluide merveilleux se prêtera pour séparer l'azote de l'air, afin de le fournir, à titre d'engrais, et à volonté, aux besoins de l'agriculture.

Nous n'avons pas des notions bien définies sur les travaux d'avenir, et nous ne sommes pas plus avancés à ce sujet que les savants du siècle de Louis XIV ne l'étaient sur l'électromagnétisme ou la vapeur à détente variable.

Cependant aujourd'hui les points de comparaison entre le passé et l'avenir sont plus faciles à établir; nous pouvons prévoir le jugement qui sera porté sur nos inventions : ce sera exactement le même que celui que nous portons sur les travaux de nos devanciers quand, assis sur les banquettes d'un wagon de chemin de fer, nous passons triomphalement à côté d'une route en pierre ou d'un chemin vicinal macadamisé; un jour viendra où nos machines figureront comme objet de curiosité à côté de la première voiture à vapeur, — celle de notre compatriote Cugnot, — placée au Conservatoire des Arts et Métiers, et qui est aussi remarquable dans l'industrie que l'est dans les lettres le premier livre du monde : *la Bible*, de Gutenberg.

Digitized by Google

II.

Ne nous faisons donc pas d'illusions sur notre mérite, ne nous glorifions pas de ce que nous avons produit, ne tombons pas dans des accalmées industrielles, car il reste beaucoup à faire; surtout n'imitons pas nos ancêtres, qui torturaient les inventeurs, et gardons-nous de ne pas accueillir avec empressement toute idée nouvelle, serait-elle même présentée par des Galilée, des Oliver Evans, des Fulton, des Frédéric Sauvage; cette idée s'appliquerait-elle même au mouvement de la terre, aux chemins de fer, aux bateaux à vapeur, à l'hélice! Car ces folies d'autrefois s'appellent aujourd'hui les bienfaits de l'humanité; — ces insensés d'autrefois s'appellent aujourd'hui des grands hommes.

Allons de suite au plus pressé : il s'agit d'appliquer aux usages de la vie les conceptions modernes et de vulgariser les idées de progrès, de façon que tout le monde, — pauvre comme riche, — puisse en profiter; ce but une fois atteint, on pourra faire un pas de plus : ce sera de provoquer le progrès.

Ne nous occupons, quant à présent, que du rôle que la presse devra jouer dans cette première circonstance. — Ce rôle est nettement défini : il n'y a pas lieu de suivre ces sociétés protectrices des inventions qui fonctionnent honorablement, mais dans l'obscurité, et qui commencent quelquefois par demander au lieu de donner; il faut purement et simplement admettre, sans hésitation aucune, toute idée nouvelle, l'examiner et lui donner une publicité large et gratuite.

Deux inconvénients se présentent immédiatement et semblent s'opposer à la réalisation de ce plan; ce sont : la crainte de former un jugement anticipé et la suspicion de se prêter à une réclame industrielle.

III.

Si une idée neuve se développe à l'écart; si petit à petit elle devient pratique, si, à force de labeur et d'essais, ses avan-

Digitized by Google

tages sont appréciés par tout le monde, il n'y aura certes plus grand mérite à mêler au concert universel un chant de victoire, à titre approbatif, mais arriéré. Il est vrai que beaucoup d'inventions ne reposent, dans le principe, que sur des données théoriques, et n'ont ni une suite lucrative pour l'auteur ni une importance immédiate pour le public. Mais est-ce une raison pour les étouffer dans le berceau par un silence malveillant? certes non; ce qu'il leur faut pour vivre et pour prospérer, c'est le grand jour de la publicité, qui tire les hommes à projet de leur isolement, qui constate leur existence et leurs travaux, qui signale leurs peines, qui approuve leurs espérances, qui fait voir à leurs familles, à leurs camarades, qu'on les connaît, qu'on s'occupe d'eux, qu'on les encourage et qu'on ne les abandonne pas; enfin, qui leur permet de dire : « Maintenant je touche au but, j'ai un ami qui m'aide, j'ai un protecteur qui me donnera la gloire; cet ami, ce protecteur, c'est un journal ou un livre ! »

N'y aurait-il même pas une douce satisfaction de jouer ainsi le rôle de la Providence à l'égard du talent et quelquefois du génie, et d'accorder aide et protection aux imitateurs des hommes auxquels nous devons tout, car, sans les inventions passées, que serions-nous ?

Depuis que la presse est muette sur la nouvelle fabrication du fer, sur l'extraction du gaz d'éclairage de l'eau, sur certains appareils fumivores, sur la typographie électrique, sur les machines motrices électriques, sur les voitures à vapeur, sur la machine à acide carbonique, que sais-je, sur toutes ces tentatives faites par des personnes qui souvent ont en vue le bien public bien plus que leur profit personnel; — depuis que nous attendons patiemment que la pratique veuille consacrer la théorie, — croit-on que ces inventeurs aient fait beaucoup de chemin, ou que plusieurs d'entre eux n'aient pas succombé à un profond découragement!

Alors, entre ce silence qui condamne, et entre ce jugement qui décourage, mais qui semble compromettre quand il porte sur une idée sans résultat définitif, quel est l'écrivain qui oserait hésiter, surtout quand il ne s'agit que de subordonner son amour-propre aux intérêts de tous?

Digitized by Google

Une autre crainte devrait plutôt nous tourmenter ; ce serait, en refusant notre concours au perfectionnement industriel, de rester au-dessous de notre mission et de voir notre manque d'initiative taxé d'incompétence et d'incapacité.

Passons au second inconvénient, défini par le mot de réclame.

IV.

L'immense développement de l'industrie publique et manufacturière dans ces dernières années, est dû en grande partie, en dehors des besoins de notre époque, au concours des grands journaux et des journaux spéciaux ; la part que la presse quotidienne y a prise est appréciée à sa juste valeur par tout le monde.

Il est donc naturel que les intérêts généraux une fois satisfaits, les besoins particuliers aient cherché à suivre une voie commode et qui, — il ne faut pas se le dissimuler, — conduisait directement au but.

Chaque entreprise, — car toute invention donne lieu immédiatement à une entreprise industrielle, — émargeait dans son budget une certaine somme pour frais de publicité : telle est l'origine de la réclame industrielle ; bornée autrefois à de simples annonces dans les feuilles destinées spécialement à cet effet, ou reléguée à la fin des livres et des journaux, elle s'est étendue, et elle eût fini par envahir la place légitime réservée à la discussion des intérêts politiques et scientifiques, si, d'un côté, ces intérêts, par la voix des lecteurs, n'eussent réclamé leurs droits, et si, d'un autre côté, le payement de ces annonces n'eût donné une rétribution suffisante pour empêcher les organes de publicité de tomber dans un trafic absolu.

Ces limites une fois posées entre la rédaction et les annonces, la petite industrie, l'industrie à réclames, à expédients, l'industrie individuelle enfin, a cherché, sous divers prétextes, à s'infiltrer dans les colonnes consacrées à la science et à l'analyse purement spéculative, et les auteurs de pareils articles, n'y voyant souvent, avec une entière bonne

Digitized by Google

foi, que des questions applicables à l'intérêt général, se trouvaient néanmoins soupçonnés de donner leur concours à des prétentions particulières. Ils ont dû malheureusement s'entourer, à cause de cette suspicion, de telles précautions, qu'en repoussant des demandes personnelles, ils risquaient d'écarter des idées qui ne pouvaient se classer dans le chapitre des annonces, à cause des prix inaccessibles aux fortunes modestes, et qui périssaient ainsi, au lieu que, dans un avenir plus ou moins éloigné, elles eussent porté des fruits.

Tel est le second inconvénient ; pour l'écarter d'un seul coup avec le premier, et pour faire en sorte que la forme n'emporte pas le fond, on n'a qu'à se mettre au-dessus de pareilles susceptibilités et savoir les sacrifier plutôt que de laisser tomber une idée dans l'oubli.

En résumé, pour sortir de ce cercle vicieux et pour marcher vers une solution pratique dans le domaine de l'industrie et de la technologie, j'ai pris le parti d'inscrire à des époques fixes dans ce manuel tous les perfectionnements faits qu'il s'agit de mettre en pratique, et d'indiquer ceux qui restent à faire. Toutes les idées industrielles prendront ainsi rang, à la condition expresse, toutefois, qu'elles renferment un germe utile et profitable aux masses.

Paris, août 1858.

Digitized by Google

TABLE DES MATIÈRES

PAR ORDRE DE CLASSEMENT.

CHAPITRE I. — MATHÉMATIQUES.

§ 1. — *Données arithmétiques.*

Pages.

Proposition I. — Table des nombres..... 5
Proposition II. — Extraction des racines; formules..... 26
Proposition III. — Relevé des poids, mesures et monnaies de tous les pays du globe 27
Proposition IV. — Calculs d'intérêts..... 37

§ 2. — *Données géométriques.*

Proposition I. — Mesurage des lignes; valeur de π..... 38
Proposition II. — Mesurage des surfaces..... 39
Proposition III. — Mesurage des solides..... 40

§ 3. — *Données trigonométriques.*

Proposition I. — Relevé des valeurs des lignes trigonométriques.. 41
Proposition II. — Résolution des triangles..... 43
Proposition III. — Relevé des valeurs trigonométriques d'un triangle. 44

CHAPITRE II. — PHYSIQUE.

§ 1. — *Principes.*

Proposition I. — Divisibilité des corps; endosmose; inexactitude de quelques définitions généralement admises; compressibilité des liquides; capillarité 47

§ 2. — *Poids spécifiques ou densité des corps.*

Proposition I. — Relevé des poids spécifiques des corps par rapport à l'eau..... 49
Proposition II. — Relevé des densités des gaz par rapport à l'air... 51
Proposition III. — Calcul des densités de l'air et de la vapeur d'eau à une température quelconque 52
Proposition IV. — Application des poids spécifiques..... 52

§ 3. — *Mesurage des degrés de chaleur.*

Définitions. — Instruments..... 53

Digitized by Google

Pages.

Proposition I. — Comparaison des échelles thermométriques..... 53
Proposition II. — Conversion des diverses échelles thermométriques en mesures centigrades..... 53
Proposition III. — Dilatation et fusion des corps..... 54

§ 4. — *Production de la chaleur.*

Définitions. — Chaleur latente; chaleur patente; calorie..... 53
Proposition I. — Détermination de la puissance calorifique; tableau des calories..... 53

§ 5. — *Production de la vapeur.*

Définitions. — Vapeur à saturation..... 57
Proposition I. — Formules de la tension de la vapeur..... 57
Proposition II. — Formules relatives à la production de la vapeur.. 59
Proposition III. — Tableau de la production de la vapeur par les divers combustibles..... 59

§ 6. — *Qualités physiques des pierres de construction.*

Définitions. — Espèces des pierres..... 60
Proposition I. — Nomenclature des pierres..... 60
Proposition II. — Qualités et défauts des pierres..... 62
Proposition III. — Pierres gélives..... 63

§ 7. — *Qualités physiques des bois de construction.*

Définitions. — Nomenclature des bois de construction..... 63
Proposition I. — Indication des vices des bois..... 64

CHAPITRE III. — CHIMIE.

§ 1. — *Principes.*

Définitions. — Division de la chimie..... 65
Proposition I. — Combinaisons chimiques..... 65
Proposition II. — Forces chimiques..... 65
Proposition III. — Nomenclature des corps simples..... 66
Proposition IV. — Formation des corps composés..... 67
Proposition V. — Equivalents chimiques..... 67

§ 2. — *Combinaisons de l'oxygène.*

Définitions. — Flamme..... 68
Proposition I. — Acide azotique ou nitrique..... 68
Proposition II. — Air atmosphérique..... 68

§ 3. — *Eau.*

Proposition I. — Composition de l'eau..... 68
Proposition II. — Action de l'eau sur diverses substances..... 69
Proposition III. — Nature des eaux impures..... 69

Digitized by Google

Pages.
Proposition IV. — Purification des eaux..... 70
Proposition V. — Saturation des eaux..... 70

§ 4. — *Carbone.*

Définitions. — Diamant..... 71
Proposition I. — Variétés de carbone..... 71
Proposition II. — Désinfection par le charbon et le chlore..... 72
Proposition III. — Combinaisons de carbone et d'oxygène..... 72
Proposition IV. — Cyanogène..... 73
Proposition V. — Hydrogène carboné ; gaz d'éclairage..... 73

§ 5. — *Combustibles.*

Définitions. — Nomenclature..... 74
Proposition I. — Analyse des combustibles..... 74
Proposition II. — Composition chimique des combustibles..... 75

§ 6. — *Sels et terres.*

Définitions. — Nomenclature..... 76
Proposition I. — Carbonate de chaux..... 76
Proposition II. — Sulfate de chaux; fabrication du plâtre..... 77
Proposition III. — Salpêtre; poudre à tirer..... 78
Proposition IV. — Silicates..... 78
Proposition V. — Composition du verre..... 79
Proposition VI. — Composition des terres; sable; argile; humus; marne..... 79
Proposition VII. — Mélanges frigorifiques..... 80
Proposition VIII. — Conservation des bois..... 82

§ 7. — *Mortiers.*

Définitions. — Espèces de mortiers..... 82
Proposition I. — Fabrication de la chaux vive..... 83
Proposition II. — Extinction de la chaux; lait de chaux; eau de chaux..... 83
Proposition III. — Espèces de chaux hydrauliques..... 83
Proposition IV. — Fabrication des chaux hydrauliques; pouzzolanes. 84
Proposition V. — Théorie du durcissement de la chaux..... 85
Proposition VI. — Mastics..... 85

§ 8 — *Propriétés générales des métaux.*

Définitions. — Minerai; gangue..... 86
Proposition I. — Conductibilité des métaux..... 86
Proposition II. — Alliages..... 86

§ 9. — *Fonte.*

Définitions. — Origine..... 87
Proposition I. — Minerai de fer..... 87
Proposition II. — Composition de la fonte..... 88

Digitized by Google

Pages.
Proposition III. — Espèces de fonte..... 88
Proposition IV. — Composition des scories ou laitiers..... 88

§ 10. — *Fer.*

Définitions. — Procédés de fabrication..... 89
Proposition I. — Méthode comtoise de fabrication..... 89
Proposition II. — Puddlage du fer..... 89
Proposition III. — Procédé catalan..... 90
Proposition IV. — Défauts dans le fer..... 90

§ 11. — *Acier.*

Définitions. — Qualités..... 90
Proposition I. — Trempe de l'acier..... 90
Proposition II. — Espèces d'aciers..... 91
Proposition III. — Composition de l'acier..... 91

§ 12. — *Métaux secondaires dans les constructions.*

Définitions. — Origine et usages du cuivre, du zinc et du plomb. 91

CHAPITRE IV. — MÉCANIQUE.

§ 1. — *Principes.*

Définitions. — Division de la mécanique..... 93
Proposition I. — Condition d'équilibre des forces ; parallélogramme des forces..... 93
Proposition II. — Centre de gravité..... 94
Proposition III. — Pression..... 95
Proposition IV. — Conditions du mouvement des corps; vitesse; parallélogramme des vitesses..... 93
Proposition V. — Chute des corps..... 97
Proposition VI. — Force centrifuge ; pendule conique..... 98

§ 2. — *Machines simples.*

Définitions, — Composition des machines..... 99
Proposition I. — Leviers ; corollaires; conditions d'équilibre..... 99
Proposition II. — Balance..... 100
Proposition III. — Poulie; moufle..... 101
Proposition IV. — Tour; treuil; cabestan..... 101
Proposition V. — Roue dentée; cric..... 101
Proposition VI. — Courroie..... 102
Proposition VII. — Plan incliné..... 103
Proposition VIII. — Pendule ; corollaire; mesure de la valeur de g.. 104
Proposition IX. — Volants..... 105

§ 3. — *Travail mécanique.*

Définitions. — Kilogramme-mètre..... 106

Digitized by Google

Pages.
Proposition I. — Evaluation de la force des moteurs..... 107
Proposition II. — Limite de la force des moteurs..... 108
Proposition III. — Effet utile du tirage..... 109

§ 4. — *Frottement.*

Définitions. — Premières expériences..... 110
Proposition I. — Force, résistance et frottement..... 111
Proposition II. — Données d'expériences sur le frottement..... 111
Proposition III. — Coefficient de frottement..... 112
Proposition IV. — Frottement au départ; vibrations..... 113
Proposition V. — Formule générale du frottement..... 114
Proposition VI. — Frottement sur les plans inclinés..... 114
Proposition VII. — Applications du frottement..... 115

§ 5. — *Relevé du travail produit par les machines les plus connues.* 117

CHAPITRE V. — RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX.

§ 1. — *Principes.*

Définitions. — Force; dilatation..... 118
Proposition I. — Elasticité et altération permanente de l'élasticité. 119
Proposition II. — Mesure de l'élasticité des corps..... 120
Proposition III. — Module ou coefficient d'élasticité..... 120
Proposition IV. — Détermination du module d'élasticité..... 121

§ 2. — *Extension.*

Proposition I. — Conditions d'équilibre..... 121
Proposition II. — Valeur du coefficient d'élasticité d'extension..... 121
Proposition III. — Limite des charges..... 122
Proposition IV. — Allongement des corps..... 124
Proposition V. — Cisaillement..... 124
Proposition VI. — Applications : tiges de sondage; tuyaux; chaînes. 125

§ 3. — *Compression.*

Proposition I. — Conditions d'équilibre..... 127
Proposition II. — Valeur du module d'élasticité de compression... 127
Proposition III. — Limite des charges, et charge de rupture..... 128
Proposition IV. — Résistance des bois..... 129
Proposition V. — Résistance de la fonte..... 130
Proposition VI. — Formules pratiques relatives aux piliers en métal. 131
Proposition VII. — Résistance des pierres à l'écrasement..... 132
Proposition VIII. — Conditions d'équilibre des forces agissant sur les pierres..... 133

§ 4. — *Flexion.*

Définitions. — Fibre neutre; plan de rupture..... 134
Proposition I. — Conditions d'équilibre; mouvement de la charge. 134

Digitized by Google

Pages.
Proposition II. — Charge de flexion avec sécurité..... 136
Proposition III. — Formules d'équilibre..... 136
Proposition IV. — Application : balancier; engrenage..... 138
Proposition V. — Solides d'égale résistance..... 139
Proposition VI. — Recherche de la flèche de flexion..... 140
Proposition VII. — Modification de la formule générale de la flèche. 140
Proposition VIII. — Rayon de courbure de la flexion..... 141

§ 5. — *Torsion.*

Définitions. — Forces réunies.....
Proposition I. — Conditions d'équilibre..... 141
Proposition II. — Valeur du coefficient d'élasticité de torsion ou de glissement..... 142
Proposition III. — Formule d'équilibre..... 142
Proposition IV. — Modification de la formule d'équilibre..... 143
Proposition V. — Diamètre des tourillons..... 144
Proposition VI — Diamètre des essieux..... 144
Proposition VII. — Angle de torsion..... 144

§ 6. — *Stabilité des constructions.*

Relevé alphabétique des données d'expérience et des formules relatives aux dimensions des constructions..... 145

CHAPITRE VI. — HYDRAULIQUE.

§. 1. — *Division de l'hydraulique.*

Définitions. — Hydrostatique, hydrodynamique..... 154

§ 2. — *Equilibre des liquides.*

Proposition I. — Conditions d'équilibre..... 154
Proposition II — Principe de Pascal; presses hydrauliques..... 155
Proposition III. — Poussée des liquides; principe d'Archimède..... 155

§ 3. — *Mesurage de la vitesse de l'eau.*

Définitions. — Moulinet de Woltmann..... 156
Proposition I. — Corrélation entre la vitesse à la surface et au fond..... 157
Proposition II. — Formule de la vitesse..... 157
Proposition III. — Limite des vitesses..... 158
Proposition IV. — Théorème de Torricelli..... 158
Proposition V. — Ecoulement en mince paroi..... 159
Proposition VI. — Pression d'une veine fluide..... 159

§ 4. — *Dépense d'eau.*

Proposition I. — Dépense théorique..... 159
Proposition II. — Dépense effective; application à la jauge d'un canal..... 160

Digitized by Google

Pages.
Proposition III. — Canaux d'alimentation,..... 161
Proposition IV. — Débit de l'eau par des vannes..... 161
Proposition V. — Débit de l'eau avec niveau variable. — Application de l'écoulement aux écluses..... 162

§ 5. — *Machines pour élever l'eau.*

Définitions. — Nomenclature..... 163
Proposition I. — Conditions d'équilibre..... 163
Proposition II. — Machines pour élever l'eau..... 164

§ 6. — *Roues hydrauliques.*

Définitions. — Espèces de roues..... 165
Proposition I. — Force d'un cours d'eau..... 165
Proposition II. — Effet d'un cours d'eau sur les roues hydrauliques 166
Proposition III. — Roues à palettes et à aubes courbes..... 167
Proposition IV. — Roues à augets..... 168
Proposition V. — Turbines..... 169
Proposition VI. — Règles pratiques sur le régime des eaux d'alimentation..... 169

§ 7. — *Conduits d'eau.*

Définitions. — Pouce d'eau du fontainier..... 170
Proposition I. — Vitesse de l'eau dans les conduits..... 170
Proposition II. — Dépense d'eau et diamètre des tuyaux..... 171
Proposition III. — Distribution d'eau dans les villes..... 171

§ 8 — *Pression exercée par les gaz.*

Proposition I. — Conditions d'équilibre des gaz. — Lois de Mariotte et de Gay-Lussac..... 172
Proposition II. — Pression atmosphérique..... 172
Proposition III. — Formules des manomètres à mercure..... 173
Proposition IV. — Formules des soupapes..... 173

§ 9. — *Mesurage de la vitesse des fluides gazeux.*

Proposition I. — Vitesse de l'air libre, anémomètre..... 174
Proposition II. — Vitesse d'écoulement des gaz..... 174
Proposition III. — Formules de la vitesse d'écoulement..... 175
Proposition IV. — Résistance de l'air..... 175
Proposition V. — Problème des ballons..... 176

§ 10. — *Dépense des fluides gazeux.*

Proposition I. — Dépense théorique et effective..... 177
Proposition II. — Mouvement des gaz dans les tuyaux..... 177

§ 11. — *Machines à air.*

Définitions. — Machine soufflante ; ventilateur..... 177

Digitized by Google

Pages.

Proposition 1. — Conditions d'établissement des ventilateurs; exemple 178

CHAPITRE VII. — MACHINES A VAPEUR.

§ 1. — *Classification des divers systèmes de machines à vapeur.* 179
§ 2. — *Evaluation de l'effet utile des machines à vapeur* 181
§ 3. — *Relevé des rapports entre les diverses pièces d'une locomotive* 182
§ 4. — *Données relatives aux détails des machines à vapeur (classées par ordre alphabétique)* 184

CHAPITRE VIII. — BREVETS D'INVENTION.

§ 1. — *Exposé* 192
§ 2. — *Brevets français* 193
§ 3. — *Brevets anglais* 200
§ 4. — *Brevets belges* 201
§ 5. — *Brevets aux Etats-Unis* 205
§ 6. — *Brevets sardes* 206
§ 7. — *Brevets autrichiens* 207
§ 8. — *Brevets hollandais* 208
§ 9. — *Brevets espagnols* 208
§ 10. — *Brevets prussiens* 209
§ 11. — *Brevets russes* 209
§ 12. — *Brevets suédois* 210
§ 13. — *Brevets bavarois, saxons, etc* 210

CHAPITRE IX. — RECHERCHES ET ENTRETIENS SUR LES PROGRÈS CONSTATÉS ET SUR CEUX A FAIRE DANS LE DOMAINE DE LA TECHNOLOGIE.

§ 1. — *Explosion des chaudières à vapeur; manomètre Bourdon* 212
§ 2. — *Explosion et éclairage des mines; puisatiers* 215
§ 3. — *Conducteurs des ponts et chaussées* 222
§ 4. — *Nouvelles brouettes* 225
§ 5. — *Niveau Charles* 229
§ 6. — *Chemins de fer aériens et Tramways* 230
§ 7. — *Compte rendu du manuel de la construction des chemins de fer* 236
§ 8. — *Expositions universelles de l'industrie* 240
§ 9. — *Mouvement perpétuel* 244
§ 10. — *Dictionnaire technologique* 247
§ 11. — *Conclusion* 249

Digitized by Google

TABLE DES MATIÈRES,

PAR ORDRE ALPHABÉTIQUE,

CONTENUES DANS LE FORMULAIRE

(CHAPITRE I A VII).

A

	Pages.
Abaissement d'un arc	145
Abreuvoirs (bois)	64
Acide azotique	68
Acide carbonique	72
Acide nitrique	68
Acide oxalique	73
Acides	67
Acide sulfurique	76
Acier	90
Action catalactique	65
Action de présence	65
Admission de la vapeur	183
Aérostats	176
Affinité chimique	65
Air atmosphérique	51, 68
Air chaud	184
Ajutage	157
Albastrile	77
Alliages	86
Allongement des corps	124
Amalgames	86
Angle de torsion	144
Anthracite	75
Appareil à vapeur	182
Arche	145
Argile	80
Aubier	64
Avance du tiroir	185

B

	Pages.
Balance	100
Balancier	138, 183
Ballons	176
Batardeaux	146
Bielle	185
Bleu de Prusse	73
Bois	57, 126
Bois de construction	63
Bois fossile	74
Borne fontaine	171
Bousin (pierres)	62
Briques	80

C

	Pages.
Cabestan	101
Calcaire	60
Calcul des intérêts	37
Calories	53, 57
Canal d'alimentation	161
Capacité pour la chaleur	53
Capillarité	48
Carbonate de chaux	76
Carbone	71
Carnaux	185
Cellulose	74
Cendrures (fer)	90
Centre de gravité	94
Chaînes	126
Chaleur	53
Chaleur latente, patente	53
Champignons (bois)	64
Chancres (bois)	64
Charbon animal	71
Charbon de bois	72
Charbon métallique	71
Chaudière	185
Chaux brûlée	83
Chaux hydraulique	84

Digitized by Google

	Pages.
Cheminée	186
Cheval-vapeur	106
Chèvre	101
Chimie	65
Chlorures désinfectants	72
Chute des corps	97
Cicatrices (bois)	64
Ciment romain	84
Cintres	146
Circonférences	38
Cisaillement	118
Clef de voûte	146
Coefficient de dilatation	54
Coefficient de frottement	112
Coefficient de glissement	142
Coefficient d'élasticité	120
Cohésion	65
Coins	104
Coke	75
Colonnes de support	131
Combinaisons chimiques	65
Combustibles	56, 59, 74
Composantes	94
Compressibilité des liquides	48
Compression	127
Condensation	57, 180, 186
Conductibilité	86
Conduits d'eau	170
Conservation des bois	82
Corps de pompes	116
Corps hygrométriques	69
Corps isomères	66
Corps simples	66
Corroyage	89
Coulisse	186
Courroie	102
Cours d'eau	165
Course du tiroir	186
Créosote	74
Creux (bois)	64
Cric	102
Criques (fer)	90
Cuivre	92
Culée (voir voûte)	152
Cyanogène	73
Cyanure	73
Cylindre à vapeur	184, 186

D

	Pages.
Défauts des bois	64
Défauts des pierres	63
Défauts du fer	90
Degrés de chaleur	53
Déliquescence	69
Densité de l'air	52
Densité des corps	49
Dépense d'eau	159
Dépense de gaz	176
Détente	180, 186
Dilatation	118
Dissolution saturée	70
Distribution d'eau	171
Distribution de vapeur	184
Données arithmétiques	5
Données géométriques	38
Données trigonométriques	41
Doublures (fer)	90
Ductilité des métaux	123
Durcissement de la chaux	85
Dynamique	93
Dynamodes	106
Dynamomètres	106

E

	Pages.
Eau	68
Eau de chaux	83
Eau de condensation	187
Eau distillée	49
Eau forte	68
Eau séléniteuse	70
Ebullition	57
Echelles thermométriques	54
Ecoulement de séve (bois)	64
Ecoulement des gaz	174
Effet dynamique	106
Effet utile des machines à vapeur	181
Efflorescence	69
Elasticité	49, 119
Elastique	134
Eléments	66
Endosmose	47
Engrenage	101, 116, 139
Entretoise	187
Equilibre	93
Equilibre des liquides	154
Equivalents chimiques	67
Espace nuisible	187
Essieux	144
Excentriques	116
Excroissances (bois)	64
Extension	121
Extinction de la chaux	83
Extractions des racines carrées et cubiques	26

Digitized by Google

Pages.

F

Fer 89
Feux d'affinerie..... 89
Fibre neutre..... 134
Fils (pierres)..... 62
Filtrage des eaux..... 72
Flâches (bois) 64
Flèches de courbure..... 140
Flexion..... 133
Fluides,..... 48
Fluides gazeux..... 176
Fluides incoërcibles..... 47
Fondation..... 147
Fonte 87
Forces..... 95
Force centrifuge..... 98
Force d'un cheval..... 109
Force vive..... 99
Fours à chaux..... 83
Fours à puddler..... 89
Frein dynamométrique..... 115
Frottement..... 110
Fulminates..... 73
Fumée..... 187

G

Gâchage..... 77
Gangue 86
Gaz.....51, 172
Gaz d'éclairage..... 75
Gaz des marais 73
Gaz oléfiant 73
Gazomètre..... 177
Gélivité..... 63
Gélivures (bois)..... 64
Graphite..... 71
Gravité 94
Grille..... 187
Gueule-bée..... 157

H

Houille 74
Humus..... 80
Hydraulicité..... 84
Hydraulique 93, 154
Hydrodynamique..... 154
Hydrogène..... 73
Hydrostatique 154

Pages.

I

Incrustation des chaudières... 70
Inertie..... 94

L

Laitiers..... 88
Laves..... 84
Levier..... 99
Ligneuse..... 73
Lignite..... 74
Limés (pierres)..... 62
Limite du travail..... 108
Liquides..... 48
Loi de Gay-Lussac 172
Loi de Mariotte.....172, 175
Lumière d'admission.....183, 187

M

Machines à air..... 177
Machines à colonne d'eau..... 167
Machines à eau..... 163
Machines à vapeur.....179, 181
Machines simples..... 99
Machines soufflantes..... 177
Manivelles.....116, 188
Manomètres..... 173
Marnes..... 80
Mastics..... 85
Mathématiques 5
Mécanique..... 93
Mécanisme de distribution.... 184
Mécanisme des locomotives... 182
Mélange..... 65
Mélanges frigorifiques..... 80
Mesurage de la vitesse de l'air. 156
Métalloïdes..... 65
Métal natif..... 86
Métaux 66, 86
Mica 80
Mine de plomb..... 71
Minerai 60, 86
Module d'élasticité..... 120
Moment d'inertie,..... 97
Monnaies..... 27
Mortiers..... 82
Moteurs..... 107
Moulinet de Woltmann..... 156
Moulures (bois)..... 64
Mousses (bois)..... 64

Digitized by Google

Pages.
Mouvement..... 95
Mouvement d'une charge..... 135
Mouvement perpétuel..... 95
Mur de face..... 147
Mur d'enceinte..... 148
Mur de refend..... 148
Mur de revêtement..... 148
Mur en pierres sèches..... 148

N

Noir de fumée..... 71

O

Orifice.....157, 188
Orifice en déversoir..... 162
Oxyde de carbone..... 72
Oxydes..... 67
Oxygène..... 68

P

Pailles (fer)..... 90
Pan de bois..... 149
Parallélogramme des forces.. 94
id. des vitesses. 97
Parallélipipède des forces.... 94
id. des vitesses.. 97
Pendule..... 104
Pendule composé..... 105
Pendule conique..... 98
Périmètre mouillé..... 157
Perte de charge d'eau..... 171
Pesanteur..... 94
Pesanteur spécifique..... 49
Physique..... 47
Pierres..... 60
Pierre à chaux..... 82
Pierre calcaire..... 76
Pierres gélives..... 63
Pignon des roues..... 102
Pile..... 149
Pilotis..... 150
Pistons..... 188
Plancher..... 149
Plan de rupture..... 134
Plan incliné.....103 114
Plate-bande..... 150
Plâtre..... 77
Plomb..... 92
Poids curseur..... 173
Pages.
Poids et mesures..... 27
Poids spécifiques..... 49
Point matériel..... 105
Pompes.....116, 163
Pompes à air..... 189
Pompes à eau froide..... 190
Pompes alimentaires..... 185
Potasse..... 76
Poteaux..... 129
Pouce d'eau..... 170
Poudre à tirer..... 78
Poudre coton..... 68
Poulie..... 101
Poussée du liquide..... 155
Poussée des terres..... 150
Poussée d'un arc..... 150
Poussée d'une voûte..... 152
Pouzollane.....62, 84
Presse à coin..... 115
Presse hydraulique..... 155
Pression..... 95
Pression atmosphérique...38, 172
Pression de l'eau..... 155
Principe d'Archimède..... 155
Production de la chaleur..... 53
Production de la vapeur..... 59
Puissance calorifique des combustibles..... 56
Pyromètres..... 53
Pyroxiline..... 68

Q

Qualités physiques des bois... 63
id. des métaux..... 89
id. des pierres,..... 60
Quantité de mouvement..... 97

R

Rapport entre les pièces des locomotives..... 182
Rebours, retours (bois)..... 64
Régime des eaux..... 161
Registre..... 190
Régulateur.....98, 183
Réservoir d'alimentation..... 190
Résidus de l'eau..... 69
Résistance contre la compression..... 128
id. la flexion..... 136
id. la torsion..... 141
id. l'extension..... 122

Digitized by Google

	Pages.
Résistance de l'air.....97,	175
Résistance des matériaux.....	118
Retours (bois).....	64
Rétrécissement des conduites.	171
Robinet d'injection.....	190
Rognons (pierres).....	62
Roideur des cordes.....	116
Roues à aubes courbes.....	168
Roues à augets.....	168
Roues à palettes.....	167
Roues dentées.....	101
Roues hydrauliques.....165,	169
Roulures (bois).....	64

S

Sable.....60,	79
Salpêtre.....	76
Saturation.....	64
Scories.....	88
Section dangereuse.....	134
Sélénite.....	76
Sels et terres.....	76
Silicates.....	78
Silice.....	78
Silicium.....	78
Sol arable.....	79
Solides d'égale résistance.....	139
Solides encastrés.....	134
Soupapes de sûreté.....	190
Stabilité des constructions...	145
Statique.....	93
Stuc.....	77
Sulfure de calcium.....	78
Surface de chauffe.....	190
Surface mouillée.....	137
Surfaces (calcul).....	39
Symboles chimiques.....	67

T

Température.....	58
Ténacité des métaux.....	123
Tension de la vapeur.....	58
Terreau.....	80
Théorème de Torricelli.....	139
Thermomanomètre.....	58
Thermomètres.....	53
Tiges de pistons.....	191
Tirage des voitures.....	109
Tirant en fer.....	151
Tiroir.....	186
Toit.....	151
Torsion.....	141
Tourbe.....	74
Tourillon.....	144
Trajectoire.....	98
Tranchées (bois).....	64
Travail des machines.....	117
Travail mécanique.....	106
Travail moteur.....	191
Travées (fer).....	90
Treuil.....	101
Triangles.....	43
Tubes bouilleurs.....181,	189
Tuiles.....	80
Turbines.....	169
Tuyaux de conduite.....	126
Tuyaux d'échappement.....	83

U

Ulcères (bois).....	64
Unités de chaleur.....	53

V

Vannes.....	161
Vapeur.....59,	190
Vapeur à saturation.....	57
Vapeur d'eau.....	52
Vaporisation.....	59
Veine fluide.....	159
Ventilateur.....	177
Verre.....	79
Vides des matériaux.....	131
Vis.....	115
Vitesse.....	96
Vitesse de l'eau.....	158
Volants.....105,	191
Volumes.....	40
Voûtes.....	152

Z

Zinc.....	92

Paris, imprimerie de Paul Dupont, rue de Grenelle-Saint-Honoré, 45.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google